



TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF PADA SEPATU REM LOKOMOTIF

**ESKARIDHO GULTOM
NRP 2113 105 036**

**Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

EXPERIMENTAL STUDY AND ALTERNATIVE MATERIAL WEAR RATE ANALYSIS OF LOCOMOTIVE BRAKE SHOES

**ESKARIDHO GULTOM
NRP 2113 105 036**

**Supervisor
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA
LAJU KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF
PADA SEPATU REM LOKOMOTIF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Mekanika Benda Padat
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Eskaridho Gultom
Nrp. 2113 105 036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 
1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E..... (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
 2. Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT..... (Penguji I)
NIP. 196807061999031004
 3. Moch. Solichin, ST, MT..... (Penguji II)
NIP. 2100201405003

SURABAYA
Juli , 2016

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA LAJU KEAUSAN MATERIAL ALTERNATIF PADA SEPATU REM LOKOMOTIF

Nama Mahasiswa : ESKARIDHO GULTOM
NRP : 2113 105 036
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

Abstrak

Sepatu rem yang digunakan pada sistem pengereman lokomotif pada umumnya, sering mengalami keausan dini yang diakibatkan oleh beban lokomotif berikut gerbong penumpang dan jarak tempuh pengereman yang cukup jauh. Hal ini terjadi dikarenakan adanya kontak antara brake shoes dan material besi sebagai roda lokomotif. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui laju keausan material alternatif sepatu rem baru dengan menggunakan SS316 sebagai kontak gesekan.

Spesimen uji ditimbang dengan timbangan digital sebelum dilakukan pengujian untuk mengetahui berat awal dan mengetahui harga kekerasan material alternatif baru sepatu rem resin serbuk baja. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kecepatan konstan maksimum yaitu 59,2 rpm dengan tiga variasi beban mendekati maksimum hingga maksimum sebesar 90 N, 120 N dan 150 N dan beban konstan maksimum sebesar 150 N dengan tiga variasi kecepatan mendekati maksimum hingga maksimum sebesar 52,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah analisa laju keausan antara material alternatif resin serbuk baja dengan dua dimensi spesimen pengujian yang digesekkan dengan material stainless steel 316 sebagai disk. Pada kedua metode pengujian memperoleh nilai rata-rata laju keausan $4114,9658 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ untuk variasi kecepatan dan $5593,7517 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ untuk variasi beban dari perolehan wear volume sebesar 1.554063 mm^3 dan 1.685238

mm³. Pada tingkat laju keausan tertinggi, diperoleh umur masing-masing spesimen berdasarkan alat uji tribometer pin on disk untuk variasi kecepatan selama 1,12 tahun dan 1,48 tahun untuk pengujian dengan variasi beban.

Kata Kunci : *kekerasan, laju keausan, material alternatif resin serbuk baja, tribometer pin on disk, umur, variasi beban, variasi kecepatan.*

EXPERIMENTAL STUDY AND ALTERNATIVE MATERIAL WEAR RATE ANALYSIS OF LOCOMOTIVE BRAKE SHOES

Student Name : ESKARIDHO GULTOM
NRP : 2113 105 036
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E.

Abstract

In Generaly, brake shoes used in locomotive braking system often have early wear caused by the burden of passenger carriages and locomotives follows the braking distance is quite far. This occurs due to the contact between brake shoes and iron material as the locomotive wheels. Therefore it is necessary to investigate alternative material wear rate using the new brake shoes SS316 as friction contact material.

The test specimen is weighed with digital scales prior to determine the initial weight and know the price of a new alternative material hardness resin serbuk baja brake shoes. Tests carried out using constant speed is 59.2 rpm with a maximum of three variations of the load closer to the maximum of up to a maximum of 90 N, 120 N and 150 N and a constant maximum load of 150 N at speeds approaching the maximum of three variations of up to a maximum of 52.4 rpm, 56 rpm and 59.2 rpm.

The results obtained from this study is to analyze the wear rate between alternative material resin serbuk baja with two-dimensional test specimens are rubbed with 316 stainless steel material as disk. In the second test method scored an average wear rate $4114.9658 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ for variations in the speed and $5593.7517 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ for load variations from the acquisition wear volume amounted to 1.554063 mm^3 and 1.685238 mm^3 . At the highest levels of wear rate, obtained by the lifetime of each

specimen by the test equipment Tribometer pin on disk for speed variations during 1,12 years and 1,48 years for testing with load variation.

Keyword : *alternative material resin powder steel, hardness, lifetime, load variations, speed variations, tribometer pin on disk, wear rate*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1.1 <i>Research on Wear Rate and Mechanical Properties of Brake Sabots (Shoes)</i>	5
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Friksi (<i>Friction</i>)	10
2.2.2 Keausan Abrasif (<i>Abrasive Wear</i>)	12
2.2.3 Keausan Adesif (<i>Adhesif Wear</i>)	14
2.2.4 Keausan Lelah (<i>Surface Fatigue Wear</i>)	15
2.2.5 Keausan Oksidasi/Korosif (<i>Tribo Chemical Wear</i>)	15
2.2.6 Material Alternatif Sepatu rem (Paduan Resin dan Serbuk Baja)	16
2.2.7 Dasar-dasar Perhitungan	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Langkah-Langkah Penelitian.....	22
3.2.1 Perumusan Masalah dan Studi Pustaka	22
3.2.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe <i>Pin On Disk</i>	23
3.2.3 Persiapan Spesimen	23
3.2.4 Pengambilan Data Penelitian.....	24
3.2.5 Pengolahan Data Penelitian	24
3.2.6 Pembuatan Grafik dan Analisis Hasil Penelitian	24
3.2.7 Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi	24
3.3 Diagram Alir Pengujian	24
3.4 Langkah Kerja Pengujian	26
3.4.1 Studi Pustaka dan Penentuan Material yang Hendak Diuji.....	27
3.4.2 Persiapan Pin Cekam, Spesimen dan Disk	27
3.4.3 Penimbangan Masa Awal Spesimen.....	27
3.4.4 Persiapan Alat Uji Tribometer dan Kalibrasi, <i>Control Speed and Load</i>	28
3.4.5 Penelitian : Keausan Material Alternatif Sepatu Rem Lokomotif Terhadap SS 316	31
3.4.6 Analisa dan Pembahasan	32
3.5 Spesifikasi Peralatan Tribometer	32
3.6 Kekerasan Material Alternatif Sepatu Rem Resin Serbuk Baja	33
3.6.1 <i>Hardness Rockwell Brinell</i>	27
3.6.2 Spesifikasi Alat Pengujian, Dimensi Spesimen dan Harga Kekerasan	33
3.7 Sifat Mekanis <i>Stainless Steel 316</i>	36
3.8 Perancangan Eksperimen	36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data kekerasan Material Alternatif resin serbuk Baja.....	37

4.2	Data Perhitungan Eksperimen	37
4.2.1	Resin serbuk Baja 15mm x 13mm x 7mm	37
4.2.2	Resin serbuk Baja 15mm x 14mm x 9mm	38
4.3	Pembahasan Grafik.....	38
4.3.1	Resin Serbuk Baja 15mm x 13mm x 7mm.....	38
4.3.1.1	Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap <i>Wear Rate</i> dengan Tiga Variasi Kecepatan	38
4.3.1.2	Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap <i>Wear Volume</i> dengan Tiga Variasi Kecepatan	40
4.3.1.3	Analisa Permukaan Resin Serbuk Baja 15mm x 13mm x 7mm Sebelum dan Setelah Pengujian	42
4.3.2	Resin Serbuk Baja 15mm x 14mm x 9mm.....	44
4.3.2.1	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear Rate</i> dengan Tiga Variasi Pembebanan.....	44
4.3.2.2	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Wear Volume</i> dengan Tiga Variasi Pembebanan.....	46
4.3.2.3	Analisa Struktur Permukaan Resin Serbuk Baja 15mm x 14mm x 9mm Mikro sebelum dan Setelah Pengujian.....	48
4.4	Grafik Perbandingan <i>Wear Rate</i> dan <i>Wear Volume</i> Aus Terhadap Variasi Kecepatan dan Beban	50
4.5	Perhitungan umur Hidup (<i>lifetime</i>) Material Uji	54
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		61
BIODATA PENULIS		

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Weight Losses</i>	6
Tabel 2.2	Rasio <i>Volumeetric Wearloss</i> (%)	7
Tabel 2.3	<i>FrictionCoefficient</i> (μ)	7
Tabel 2.4	Komposisi Material Alternatif Sepatu Rem Resin Dan Serbuk Baja	17
Tabel 3.1	Matriks Rancangan Hasil Penelitian Berdasarkan Variasi Kecepatan Putaran	36
Tabel 3.2	Matriks Rancangan Hasil Penelitian Berdasarkan Variasi Beban.....	36
Tabel 4.1	Data Perhitungan Hasil Pengujian Material Alternatif Resin Serbuk Baja Bergesekan Dengan <i>Stainless Steel</i> AISI 316 Dengan Variasi Kecepatan Putaran (rpm)	38
Tabel 4.2	Data Perhitungan Hasil Pengujian Material Alternatif Resin Serbuk Baja Bergesekan Dengan <i>Stainless Steel AISI</i> 316 Dengan Variasi Beban (N).....	38
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Umur Hidup Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm Knot	55
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Umur Hidup Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 14 mm \times 9 mm.....	55

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem Pengereman pada Lokomotif.....	1
Gambar 2.1	Sampel uji dan <i>Counter Abrasive Disc</i>	5
Gambar 2.2	Perubahan Kuantitas Aus (mg) terhadap Empat Variasi Gaya dengan Aaktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm	8
Gambar 2.3	Perubahan Rasio <i>Volumetric Wear</i> terhadap Empat Variasi Gaya dengan Waktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm	8
Gambar 2.4	Perubahan Rasio <i>Friction Coefficients</i> terhadap Empat Variasi Gaya dengan Waktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm	9
Gambar 2.5	SEM <i>Pig Iron</i>	10
Gambar 2.6	SEM <i>Composite</i>	10
Gambar 2.7	SEM <i>Sintered</i>	10
Gambar 2.8	Keausan Abrasif pada Proses Cutting (<i>Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor. 2000</i>)..	13
Gambar 2.9	Perpindahan Material karena <i>Adhesive Wear</i> yang Menghasilkan Formasi Penggarukan Sehingga Menyebabkan <i>Abrasive Wear</i>	13
Gambar 2.10	Pengamatan Mikroskopik Keausan <i>Adhesive</i> (http://www.ptu.tu-darmstadt.de)	14
Gambar 2.11	Mekanisme Keausan Adesif.....	15
Gambar 2.12	Ilustrasi dari Proses Subsurface Pertumbuhan Retak (<i>Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor. 2000</i>)	15
Gambar 2.13	Model Interaksi antara Agen Korosif dan Permukaan yang Rusak (<i>Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor. 2000</i>).....	16
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	22
Gambar 3.2	Alat Uji Tribometer <i>Pin On Disc</i> di Jurusan Teknik Mesin ITS.....	23
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> Pengujian	26
Gambar 3.4	<i>Stainless Steel 316</i> sebagai <i>Disk</i>	28

Gambar 3.5	Timbangan Digital untuk Mengukur Berat Spesimen	29
Gambar 3.6	Instalasi spesimen pin dan disk pada Alat Tribomoter Tipe <i>Pin On Disc</i>	30
Gambar 3.7	Kalibrasi Variabel <i>Load</i> dengan Menggunakan Timbangan Berat Biasa	30
Gambar 3.8	<i>Stainless steel 311 Disk</i> sebagai Material Gesek	31
Gambar 3.9	Pengujian Kekerasan Material Alternatif Resin Serbuk Baja	34
Gambar 3.10	Spesimen-spesimen Pengujian Kekerasan	35
Gambar 3.11	<i>Mechanical Properties SS316 (Matweb.com)</i>	36
Gambar 4.1	Grafik <i>Wear Rate</i> terhadap Kecepatan dengan Pembebanan Konstan Maksimum 120 N	39
Gambar 4.2	Grafik <i>Wear Volume</i> terhadap Kecepatan dengan Pembebanan Konstan 120 N	41
Gambar 4.3(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm I Sebelum Pengujian	42
Gambar 4.3(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm I Setelah Pengujian	42
Gambar 4.4(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm II Sebelum Pengujian	43
Gambar 4.4(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm II Setelah Pengujian	43
Gambar 4.5(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm III Sebelum Pengujian	43
Gambar 4.5(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm III Setelah Pengujian	43

Gambar 4.6	Grafik <i>Wear Rate</i> terhadap Beban dengan Kecepatan Konstan Maksimum 59,2 rpm	45
Gambar 4.7	Grafik <i>Wear Volume</i> terhadap Variasi Beban dengan Kecepatan Konstan 59,2 rpm.....	45
Gambar 4.8(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm I Sebelum Pengujian.....	48
Gambar 4.8(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm I Setelah Pengujian	48
Gambar 4.9(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm II Sebelum Pengujian.....	48
Gambar 4.9(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm II Setelah Pengujian	48
Gambar 4.10(a)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm III Sebelum Pengujian.....	49
Gambar 4.10(b)	Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm III Setelah Pengujian	49
Gambar 4.11	Diagram Batang Perbandingan Nilai <i>Wear Rate</i> terhadap Kecepatan dan Beban antara Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dan Resin Serbuk Baja 15 mm x 14mm x 9mm	51
Gambar 4.12	Diagram Batang Perbandingan Nilai <i>Wear Volume</i> terhadap Kecepatan dan Beban antara Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dan Resin Serbuk Baja 15 mm x 14mm x 9mm	52

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pin Cekam	61
Lampiran 2	Spesimen.....	62
Lampiran 3	Disk	63

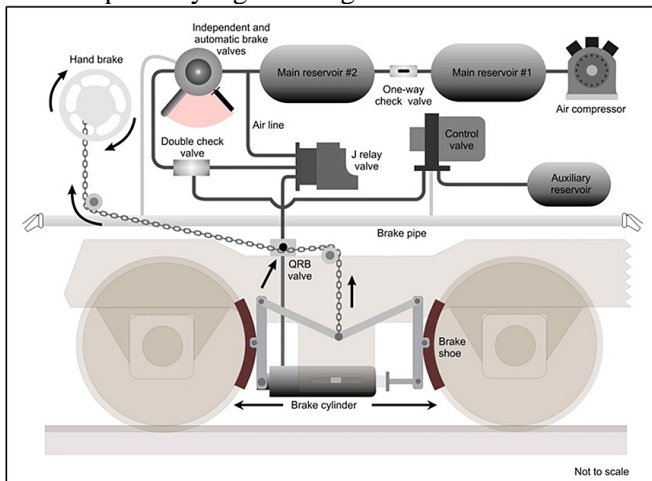
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Salah satu bagian penting dari sistem kendaraan atau lokomotif adalah pengereman. Untuk bisa beroperasi dengan baik kendaraan yang meaju harus bisa dihentikan perjalanannya karena sudah sampai pada tujuan atau karena ada rintangan yang menghalangi laju kereta api tersebut. Prinsip pengereman adalah merubah energi kinetik. menjadi energi panas melalui kontak dua permukaan antara roda dan sepatu rem. Bila masinis kereta mengaktifkan katup rem, udara yang dimampatkan bergerak dari pipa rem, masuk katup kendali dan terus ke silinder rem. Tekanan udara dalam silinder rem menggerakkan tuas yang menekan sepatu rem ke roda kereta. Melepaskan katup rem menyebabkan tekanan udara lepas dari silinder rem dan sepatu rem pun menjauhi roda. Katup kendali itu juga memicu rem secara otomatis apabila sebuah gerbong terlepas dari bagian kereta lainnya. Sebuah tabung tambahan menyimpan cadangan udara termampatkan yang akan digunakan dalam keadaan darurat.



Gambar 1.1 Sistem Pengereman pada Lokomotif

Setiap komponen yang bergerak pada umumnya selalu mengalami kerusakan. Keausan mempunyai peranan yang sangat penting terhadap umur pemakaian sepatu rem pada lokomotif. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau bergesekan dan mengakibatkan hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi satu sama lain.

Permasalahan yang sering dialami oleh dunia industri atau perkeretaapian adalah bagaimana cara meminimalisir kerugian keausan atau membuat material alternatif baru terjadi pada dua komponen mesin saling menekan dan saling bergesekan. Keausan paling besar terjadi pada benda – benda lunak. Faktor – faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan material. Pada dasarnya salah satu faktor yang mempengaruhi keausan adalah kekerasan material komponen. Kekerasan material didapatkan dari terobosan material baru. Material alternatif yang akan dianalisa laju keausannya merupakan material paduan antara resin dan serbuk baja hasil penempaan.

Maka dari itu pada tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh material alternatif baru sepatu rem terhadap laju keausan (*wear rate*) dengan memvariasikan dua bagian dari enam spesimen hasil potongan material alternatif pada permukaan yang berbeda dengan luasan bidang spesimen yang berbeda dengan luasan sebesar (15 mm × 13 mm × 7 mm) untuk eksperimen dengan variasi kecepatan dan (15 mm × 14 mm × 9 mm) untuk eksperimen dengan variasi beban. Pada kedua bagian spesimen tersebut dilakukan pengujian dengan spesifikasi maksimum pada alat tribometer dan mencari *life time* dari material serta merekomendasikan material alternatif *sabots* yang memiliki laju keausan yang lebih baik daripada material yang digunakan pada umumnya disistem pengereman lokomotif. Skala perbandingan kondisi alat uji tipe pin on disk dengan kondisi *real* sebesar 1:65,87 untuk skala kecepatan dan 1:59,66 untuk skala pembebanan.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan penelitian mengenai analisa laju keausan material alternatif baru terhadap *Stainless steel* 316 ini maka rumusan permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui pengaruh kecepatan putaran dengan beban konstan maksimum dan pengaruh beban terhadap kecepatan konstan maksimum pada alat tribometer terhadap uji keausan material alternatif sepatu rem lokomotif material *Stainless steel* 316?
2. Bagaimana mengetahui *life time* dari material alternatif sepatu rem tersebut?
3. Prilaku pengujian apa yang memiliki laju keausan (*wear rate*) yang lebih baik dari material yang digunakan pada umumnya pada sistem pengereman lokomotif?

1.3 Batasan Masalah

Agar tujuan dari penulisan tugas akhir ini lebih terarah dan sistematis, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas struktur mikro material yang diuji
2. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen mesin
3. Temperatur dianggap konstan pada temperatur kamar
4. Kekasaran permukaan dianggap sama
5. Beban yang digunakan adalah beban konstan sebesar 120 N untuk tiga variasi kecepatan 52,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm
6. Speed control yang digunakan adalah putaran konstan sebesar 59,2 rpm untuk tiga variasi beban yang sebesar 80 N, 100 N dan 120 N
7. Kontak antara material alternatif sepatu rem dengan *stainless steel* 316

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kekerasan material alternatif sepatu rem
2. Untuk mengetahui *wear rate* dan *lifetime* material alternatif sepatu rem
3. Untuk mengetahui perilaku pengujian terhadap kecepatan, pembebanan dan mekanisme keausan material alternatif sepatu rem

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai pemberian rekomendasi dalam pemilihan material alternatif sepatu rem untuk komponen pengereman dan mekanisme pengereman roda pada lokomotif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1.1 *Research on Wear Rate and Mechanical Properties of Brake Sabots (Shoes)*

Dr. Ahmet Akkus pada jurnalnya yang berjudul *Research on Wear Rate and Mechanical Properties of Brake Sabots (Shoes) Used in Railway Rolling Stocks, Cumhuriyet University* pada bulan desember 2014 meneliti tentang uji keausan. Persiapan sampel uji material sepatu rem dry friction UIC 2501 pada sistem pengereman yaitu *pig iron*, *composite* dan *sintered* dengan dimensi spesimen uji 30 mm × 30 mm × 10 mm. Harga kekerasan yang dimiliki pada masing masing material *pig iron sabot* (233 HB), *sintered sabot* (123,6 HB) dan kekerasan terendah dimiliki oleh material *composite sabot* sebesar 102 HB. Ketiga material tersebut juga dilakukan pengujian impact dengan rata-rata kekuatan impact sebesar 5,83 Joule/cm² (*pig iron sabot*), 1,46 Joule/cm² dan kekuatan *impact* terendah pada materian *sintered*.

Dari spesifikasi material diatas pengujian keausan pada penelitian ini juga memilikiparameter-parameter kecepatan, perubahan massa akibat gesekan, gaya penekanan, lintasan dan waktu. Waktu yang dibutuhkan antara 180, 360, 540 dan 720 detik saat pengujian sliding, putaran disk antara 400, 500 dan 600 rpm dan gaya sebesar 92, 122, 152 dan 182 newton. Dimensi spesimen uji untuk menganalisis keausan memiliki diameter Ø12,7 mm dengan *counter abrasive disc* berdiameter Ø60 mm dan ketebalan disc 20 mm.



Gambar 2.1 Sampel Uji dan *Counter Abrasive Disc*

Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penimbangan berat sampel awal
2. Penyesuaian sampel dengan *counter abrasive disc*
3. Pemberian beban dan putaran
4. Menganalisa laju keausan dengan penimbangan berat sampel setelah pengujian
5. Pembersihan permukaan sampel dari partikel yang disebabkan oleh abrasi

Berat sampel sebelum dan sesudah pengujian ditimbang dengan skala kepresisian 1/10000, *weight losses*, rasio *volumetric wearloss*, dan *friction coefficient* dari hasil pengujian ketiga material sepatu rem dapat dilihat pada tabel dan grafik sebagai berikut:

Tabel 2.1 *Weight Losses*

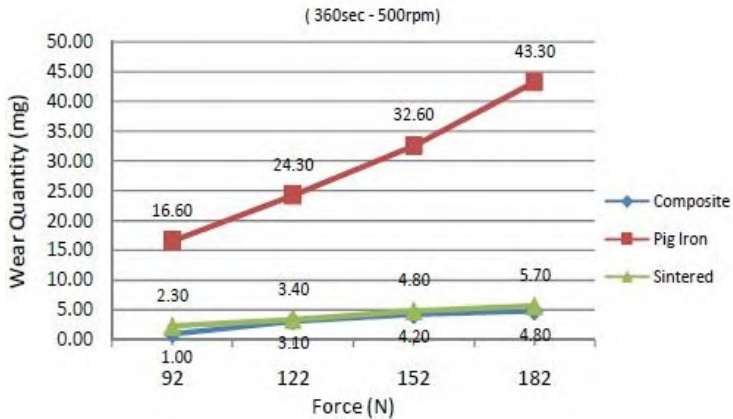
		<i>Pig iron sabot</i>	<i>Composit sabot</i>	<i>Sintered sabot</i>
<i>Sliding Time (Detik)</i>	180	15,10	2,80	3,20
	360	24,30	3,10	4,40
	540	34,00	3,80	5,20
	720	47,30	4,70	7,10
<i>Gaya (N)</i>	92	16,60	1,00	2,30
	122	24,30	3,10	3,40
	152	32,60	4,20	4,80
	182	43,30	4,80	5,70
<i>Putaran (rpm)</i>	300	13,10	2,00	2,30
	400	17,20	3,00	3,00
	500	24,30	3,10	3,40
	600	35,20	3,90	4,50

Tabel 2.2 Rasio Volumetric Wearloss(‰)

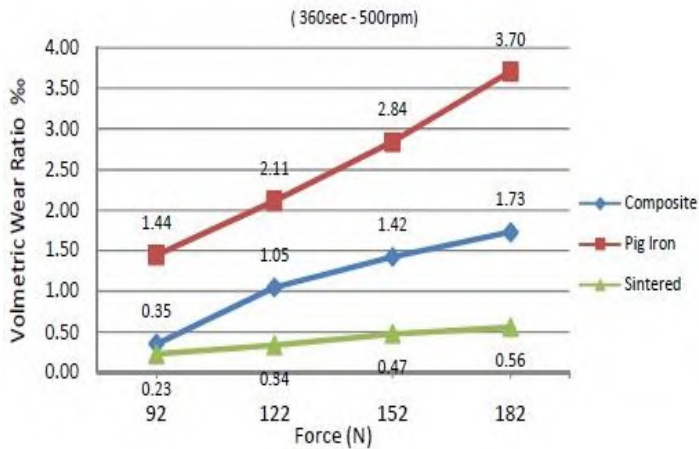
		<i>Pig iron sabot</i>	<i>Composit sabot</i>	<i>Sintered sabot</i>
<i>Sliding Time</i> (Detik)	180	1,31	0,98	0,32
	360	2,11	1,05	0,44
	540	2,96	1,34	0,52
	720	4,03	1,69	0,70
Gaya (N)	92	1,44	0,35	0,23
	122	2,11	1,05	0,34
	152	2,84	1,42	0,47
	182	3,70	1,73	0,56
Putaran (rpm)	300	1,11	0,72	0,23
	400	1,51	1,01	0,30
	500	2,11	1,05	0,34
	600	3,09	1,32	0,45

Tabel 2.3 Friction Coefficient (μ)

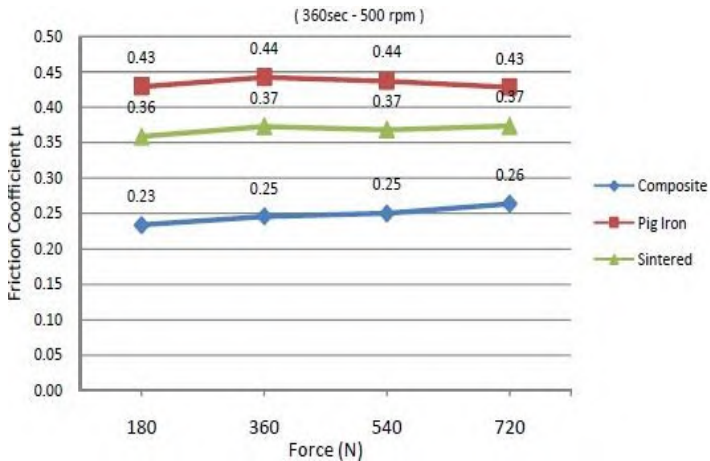
		<i>Pig iron sabot</i>	<i>Composit sabot</i>	<i>Sintered sabot</i>
<i>Sliding Time</i> (Detik)	180	0,45	0,26	0,37
	360	0,44	0,25	0,37
	540	0,47	0,27	0,37
	720	0,48	0,24	0,38
Gaya (N)	92	0,43	0,23	0,36
	122	0,44	0,25	0,37
	152	0,44	0,25	0,37
	182	0,43	0,26	0,37
Putaran (rpm)	300	0,45	0,28	0,43
	400	0,42	0,26	0,40
	500	0,44	0,25	0,37
	600	0,46	0,23	0,35



Gambar 2.2 Perubahan Kuantitas Aus (mg) terhadap Empat Variasi Gaya dengan Aaktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm



Gambar 2.3 Perubahan Rasio *Volumetric Wear* terhadap Empat Variasi Gaya dengan Waktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm

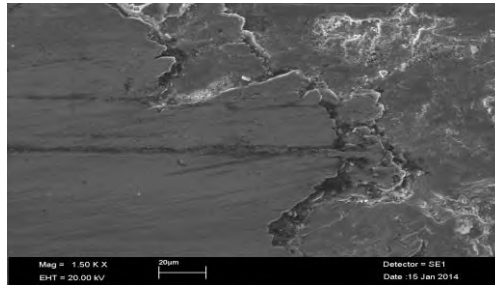


Gambar 2.4 Perubahan *Friction Coefficients* terhadap Empat Variasi Gaya dengan Waktu 360 detik dan Putaran Sebesar 500 rpm

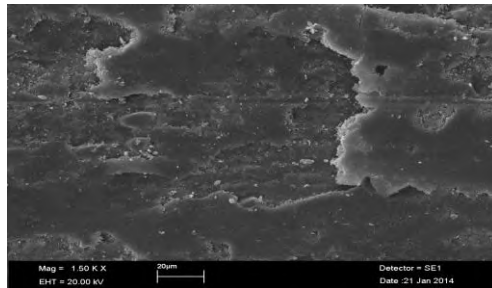
Grafik diatas menunjukkan perubahan nilai dengan empat perbandingan gaya 180, 360, 540, dan 720 newton. Pada perubahan kuantitas aus (mg) rasio meningkat seiring dengan meningkatnya gaya yang diberikan. Hal ini juga berlaku pada grafik rasio volumetric wear.

Perubahan *friction coefficient* dengan empat variasi gaya yang diberikan saat pengujian berlangsung mendapatkan perubahan nilai yang tidak terlalu besar. Nilai *friction coefficient* setelah dilakukan pengujian relatif sama (konstan).

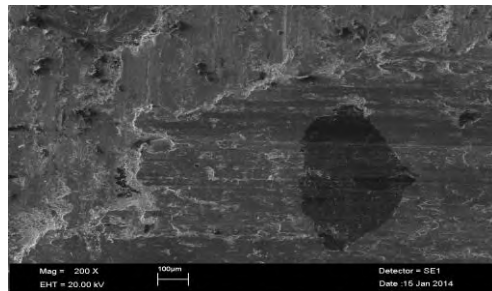
Keausan yang terjadi pada penelitian ini adalah keausan abrasif dan adesif. Hasil dari permukaan setelah dilakukan pengujian yang kemudian diidentifikasi melalui proses SEM (*Scanning elektron microscopes*) dengan parameter waktu selama 360 detik, gaya sebesar 122 N dan putaran sebesar 500 rpm dengan perbesaran 300.000 \times . Gambar hasil SEM pada masing-masing material sepatu rem dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 SEM *Pig Iron*



Gambar 2.6 SEM *Composite*



Gambar 2.7 SEM *Sintered*

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Friksi (*Friction*)

Friksi adalah gaya yang menahan gerakan *sliding* atau *rolling* satu benda terhadap benda lainnya. Friksi merupakan

faktor yang penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan atau mesin.

Friksi dari *sliding* dua benda padat yang diperoleh dari eksperimen sederhana menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya friksi hampir tidak bergantung pada luas kontak .

Jika sebuah bata ditarik diatas meja, gaya friksi tetap sama, baik posisi bata berdiri ataupun tidur. (Leonardo da Vinci, 1452-1519)

2. Friksi berbanding lurus dengan beban yang bekerja pada permukaan.

Jika bata ditumpuk empat ditarik diatas meja, besarnya friksi empat kalinya friksi satu batayang ditarik. Jadi rasio gaya friksi F terhadap beban L adalah tetap. Rasio yang tetap tersebut disebut koefisien friksi (*coefficient of friction*) dan biasanya diberi simbol huruf Yunani mu (μ). Secara matematik persamaan dapat ditulis sbb :

$$\mu = \frac{F}{N}$$

Koefisien friksi tidak punya satuan, karena friksi dan beban yang diukur dalam satuan gaya (*pound atau Newton*) saling meniadakan. Sebagai contoh: Harga koefisien friksi $\mu=0,5$ untuk kasus bata ditarik diatas kayu yang berarti bahwa dibutuhkan gaya sebesar setengah dari berat bata untuk mengatasi friksi, dan menjaga bata bergerak secara konstan. Gaya friksi arahkan berlawanan dengan arah gerak bata. Karena friksi timbul antara permukaan yang bergerak maka ini disebut friksi kinetik (*kinetic friction*). Ini untuk membedakan dengan friksi statik (*static friction*), yang bekerja pada permukaan yang diam. Harga friksi statik selalu lebih besar dari friksi kinetik

Friksi *rolling* (*rolling friction*) terjadi jika suatu roda, sylinder ataupun bola menggelinding bebas diatas permukaan, seperti halnya pada *ball* atau *roller bearing*. Sumber friksi utama dalam gerakan *rolling* adalah disipasi energi yang melibatkan deformasi benda. Jika bola keras menggelinding diatas permukaan, bola sedikit peyang dan permukaan sedikit legok

pada daerah kontak. Deformasi elastik atau kompresi pada daerah kontak tersebut merupakan penghambat gerakan dan energinya tidak kembali saat benda kembali ke bentuk semula. Energi yang hilang pada kedua bagian permukaan sama dengan energi yang hilang pada bola yang jatuh dan terpantul. Besarnya friksi *slidding* pada umumnya 100 sampai 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan friksi *rolling*. Keuntungan gerakan *rolling* dipahami oleh manusia pendahulu sehingga ditemukan roda.

Ada beberapa jenis friksi antara lain:

- a. *Dry friction*
- b. *Fluid friction*
- c. *Lubricated friction*
- d. *Skin friction*
- e. *Internal friction*

2.2.2 Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Keausan jenis ini terjadi apabila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut.

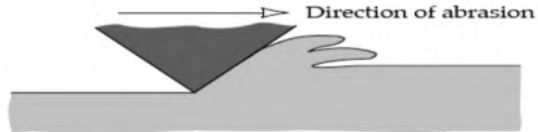
Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada didalam sistem *slury*. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir. Partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.

Ada dua katekori keausan ini, yaitu:

- a. *Two body abrasion*

Keausan ini disebabkan oleh hilangnya material karena proses *rubbing* (penggarukan) oleh material lain yang lebih keras dibanding material yang lain. Sehingga material yang lunak akan

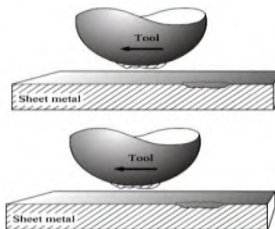
terabrasi contohnya pada proses permesinan antara lain *cutting*. Atau *turning*. Mekanisme keausan *two body abrasive* dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Keausan Abrasif pada Proses Cutting (Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor. 2000)

b. *Three body abrasion*

Aus yang disebabkan proses *galling* sehingga serpihan hasil gesekan yang terbentuk (debris) mengeras serta ikut berperan dalam hilangnya material, karena proses gerakan yang terjadi secara berulang-ulang. Jadi pengertian “tiga benda” disini adalah dua material yang saling bergesekan dan sebuah benda serpihan hasil gesekan. Sedangkan pada keausan “dua benda”, debris atau serpihan hasil gesekan tidak ada. Debris berasal dari logam lembaran yang teradhesi pada permukaan alat cetak, kemudian karena proses pembentukan yang terjadi serpihan ini akan menggaruk permukaan pelat, sehingga terjadilah keausan secara *abrasive*. Mekanisme keausan *Three Body Abrasion* dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Perpindahan Material karena *Adhesive Wear* yang Menghasilkan Formasi Penggarukan sehingga Menyebabkan *Abrasive Wear*

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

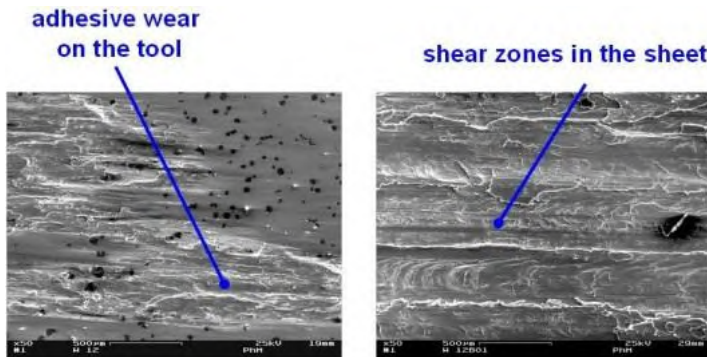
- *Material hardness*
- Kondisi struktur mikro
- Ukuran abrasif
- Bentuk abrasif

Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antara lain:

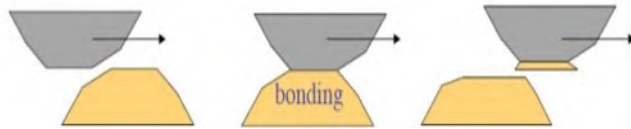
- *Scratching*
- *Scoring*
- *Gouging*

2.2.3 Keausan adesif (*Adhesive Wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material atau lebih mengakibatkan adanya pelekatan (*adhesive*) antara satu dengan lainnya serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu dengan lainnya, seperti ditunjukkan gambar 2.10 dan mekanismenya pada gambar 2.11.



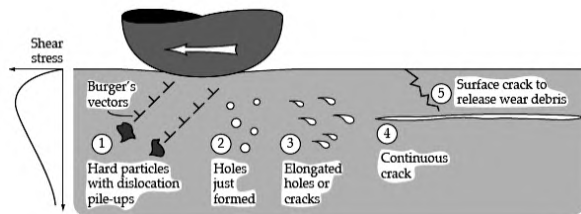
Gambar 2.10 Pengamatan Mikroskopik Keausan Adhesive (<http://www.ptu.tu-darmstadt.de>)



Gambar 2.11 Mekanisme Keausan Adesif

2.2.4 Keausan Lelah (*Surface Fatigue Wear*)

Keausan lelah/fatig pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara *abrasive* atau *adhesive*. Tetapi keausan jenis ini terjadi secara berulang – ulang dan periodik. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan geser. Pada gambar 2.12 dibawah ini mengilustrasikan tentang pertumbuhan retak pada permukaan benda. Ketidaksempurnaan dalam struktur material salah satu penyebabnya adalah lokasi yang kosong yang ada dalam susunan butir pembentuk material.

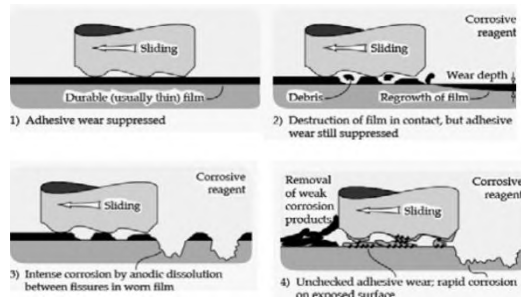


Gambar 2.12 Ilustrasi dari Proses *Subsurface* Pertumbuhan Retak (*Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor.2000*)

Karena tekanan yang terjadi selama gesekan antara dua benda, maka lubang yang ada akan melebar, proses berikutnya adalah menyatunya lubang yang telah melebar tadi menjadi alur retak sehingga perambatan retak yang terjadi akan mengakibatkan terlepasnya permukaan menjadi debris.

2.2.5 Keausan Oksidasi/Korosif (*Tribo Chemical Wear*)

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antar proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya.



Gambar 2.13 Model Interaksi antara Agen Korosif dan Permukaan yang Rusak (*Stachowiak, GW. And A.W. Batchelor.2000*)

Sebagai contoh, proses oksidasi yang sering terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam, proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan juga terjadi abrasi. Peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada asperiti adalah akibat dari keausan kimiawi. Keausan jenis ini akan menyebabkan korosi pada logam. Interaksi antara agen korosif dan permukaan yang rusak seperti terlihat dalam gambar 2.13 diatas. Korosi diawali dengan keausan *adhesive* yang merusak lapisan film. *Sliding* yang terus menerus akan menghilangkan lapisan. Karena adanya bahan yang reaktif, maka korosi berlangsung dengan cepat.

2.2.6 Material Alternatif Sepatu Rem (Paduan Resin dan Serbuk Baja)

Material alternatif ini merupakan material paduan antara resin dengan serbuk baja yaitu dengan menggabungkan kedua unsur-unsur material dengan unsur tambahan pada komposisi tertentu. Proses pembuatan material alternatif baru ini yaitu dengan proses tempa panas pada cetakan khusus yang hanya diperuntukkan dalam studi eksperimen saja, dimana material alternatif yang dibuat sebagai sampel alternatif baru sepatu rem

pada sistem pengereman roda lokomotif memiliki komposisi sebagai berikut:

Tabel 2.4 Komposisi Material Alternatif Sepatu Rem Resin Dan Serbuk Baja

Komponen	Konsentrasi Unit (%)
Fe	43.2
Al	26
Zn	8.16
Ba	5.40
Cu	5.35
Si	4.7
Ni	2.820
Ca	1.20
Pb	1.1
Eu	0.6
T	0.43
P	0.41
Os	0.4

2.2.7 Dasar-dasar Perhitungan

Dasar-dasar perhitungan laju keausan pertama-tama dilakukan dengan mencari waktu pengujian terlebih dahulu yang bergantung pada lintasan atau *track* saat pengujian pada alat tribometer. Jarak lintasan dan variabel putaran pada alat tribometer adalah parameter penentu untuk menentukan waktu atau lama pengujian keausan pada material resin serbuk baja tersebut. Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan waktu pengujian pada material alternatif ini adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \quad (2.1)$$

Keterangan :

t = waktu pengujian (menit)

L = panjang track pin (meter)
 d = diameter track pin (meter)

Pada perhitungan ini, ada parameter yang harus didapat terlebih dahulu yaitu kekerasan material alternatif sepatu rem resin serbuk baja. Nilai keausan pada material alternatif sepatu rem bisa diperoleh dengan mendapatkan perbandingan berat atau massa setelah dilakukan pengujian pada alat tribometer. Perubahan massa pin Δm didapatkan dengan menimbang pin menggunakan timbangan digital sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Setelah Δm diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume (ΔV) pin yang terjadi dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (2.2)$$

Maka *wear rate* K dapat dicari dengan rumus

$$\frac{V}{L} = K \frac{F}{H} \quad (2.3)$$

$$V = \left(\frac{K}{H} \right) F \cdot L \quad (2.4)$$

$$K = \frac{H \Delta V}{F \cdot L} \quad (2.5)$$

Pada eksperimen ini setelah dicari nilai laju keausan (*wear rate*), maka akan didapatkan umur hidup dari material alternatif sepatu rem resin serbuk baja. Perhitungan umur hidup pada material alternatif sepatu rem resin serbuk baja menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{v} \quad (2.6)$$

t = umur hidup material (*secons*)

L = panjang lintasan (meter)

v = kecepatan rata – rata (m/s)

Dimana untuk mencari nilai L dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$L = \frac{V \times H}{k \times W} \quad (2.7)$$

L = Panjang Lintasan (meter)

V = Volume Batas Aus yang Diijinkan (m^3)

H = Nilai Kekerasan Material

K = Nilai Laju Keausan (mm^3/m^3)

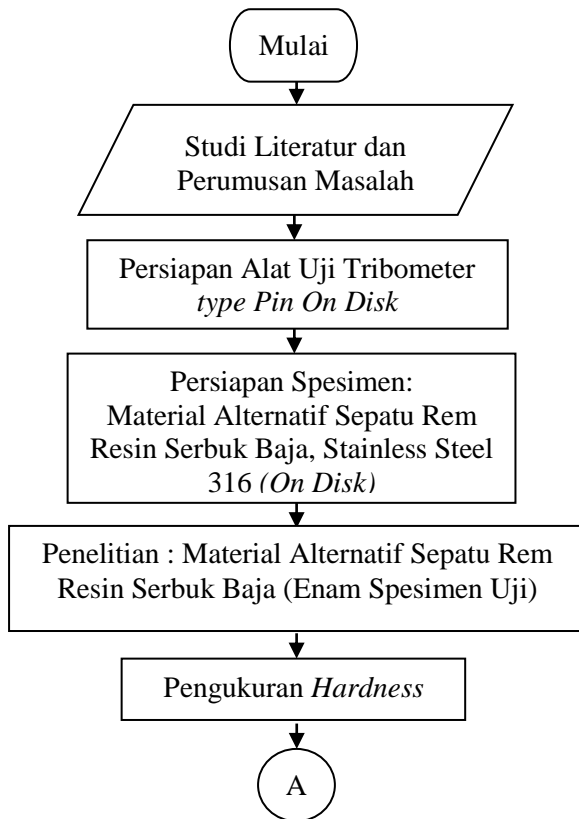
W = Berat Pembebanan (N)

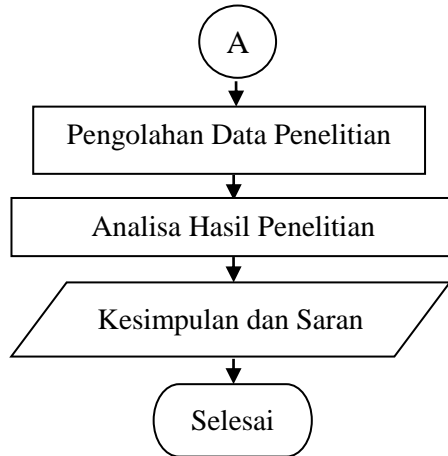
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada gambar 3.1. Penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *wear rate* dari spesimen uji.





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian pengujian laju keausan (*wear rate*) pada Material Alternatif Sepatu Rem Resin Serbuk Baja terhadap *Stainless Steel* 316 yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur dan perumusan masalah.
- b. Persiapan alat uji Tribometer *Pin On Disk*.
- c. Persiapan spesimen material alternatif resin serbuk baja (pin) dan *Stainless Steel* 316 (disk).
- d. Pengambilan data penelitian.
- e. Penelitian : *Hardness, Wear Rate, Lifetime*.
- f. Pengolahan data penelitian.
- g. Pembuatan grafik dan analisa hasil penelitian.
- h. Kesimpulan saran rekomendasi.

3.2.1 Perumusan Masalah dan Studi pustaka

Langkah awal didalam melakukan penelitian ini adalah merumuskan masalah. Permasalahan yang ada dan kemudian mencari ide serta solusi atas permasalahan tersebut. Setelah itu

menilai mengkaji studi literatur dan studi pustaka terkait teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

3.2.2 Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe *Pin On Disk*

Secara garis besar pada penelitian ini variabel yang divariasikan, yaitu massa dan putaran. Variabel lain yang konstan yaitu dengan pembebanan (*load*) sebesar 120 Newton dengan variasi *speed* putaran sebesar 52,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm pada tiga Spesimen uji pertama (15 mm × 13 mm × 7 mm) dan kecepatan putaran konstan sebesar 59,2 rpm dengan variasi pembebanan sebesar 80 N, 100 N dan 120 N pada tiga spesimen uji kedua (15 mm × 14 mm × 9 mm). Pengambilan kecepatan putaran adalah skala laboratorium yang disesuaikan dengan spesifikasi dari tribometer yang ada pada lab jurusan teknik mesin ITS. Alat tribometer yang ada pada jurusan teknik mesin ITS dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Alat Uji Tribometer *Pin On Disk* di Jurusan Teknik Mesin ITS

3.2.3 Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah sepatu rem resin serbuk baja dan *stainless steel* 316 sebagai disk. Masing - masing spesimen akan dicari spesifikasinya.

3.2.4 Pengambilan Data Penelitian

Tahap ini merupakan tahapan yang penting karena pada tahap inilah akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa.

3.2.5 Pengolahan Data Penelitian

Data yang didapat dari penelitian selanjutnya akan diolah dengan beberapa rumus perhitungan dan juga dari studi literatur yang telah dilakukan.

3.2.6 Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian

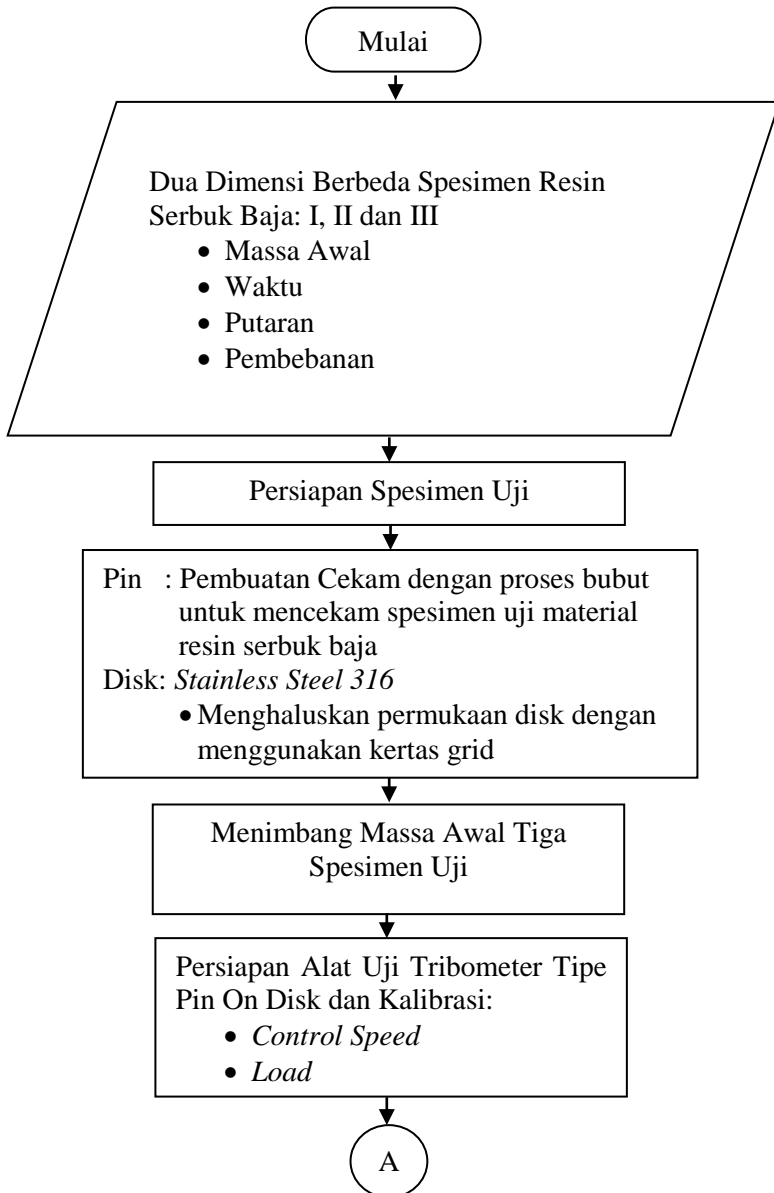
Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukann pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

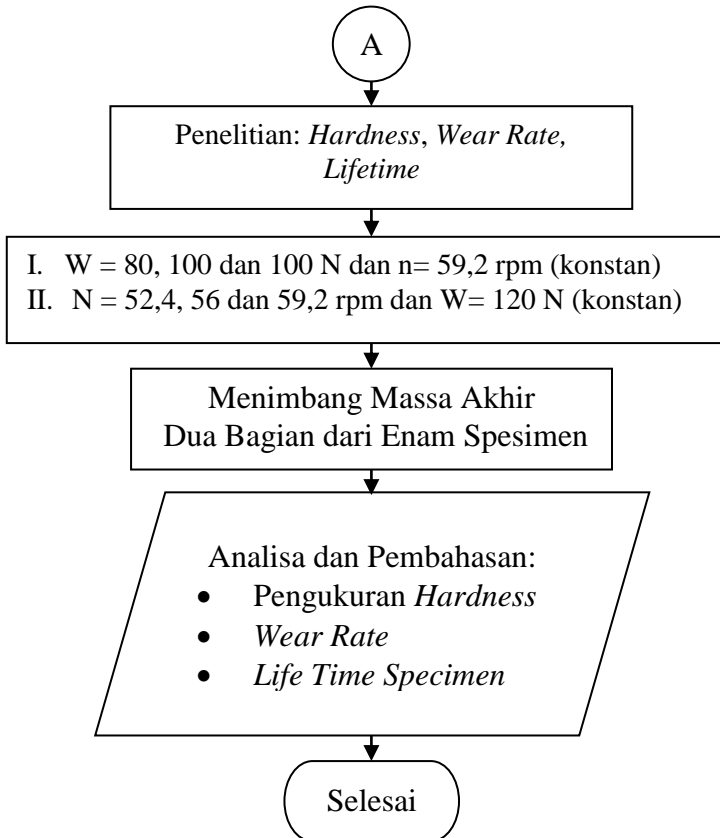
3.2.7 Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi

Menyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberikan saran dan rekomendasi

3.3. Diagram Alir Pengujian

Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian, untuk memperoleh dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart pengujian. *Flowchart* pengujian bisa dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.





Gambar 3.3 *Flowchart* Pengujian

3.4 Langkah Kerja Pengujian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

- Studi pustaka dan penentuan material yang hendak diuji
- Penimbangann massa awal spesimen pertama (15 mm × 13 mm × 7 mm) (gr), penentuan *speed control* 100 (59,2 rpm. 56 rpm dan 59,2 rpm), waktu (5533 sekon), pembebanan sebesar 120 N.

- c. Penimbangann massa awal spesimen kedua ($15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$) (gr), penentuan *speed control* 100 (59,2 rpm), waktu ($t = 6251 \text{ s}, 5849 \text{ s}, 5533 \text{ s}$), pembebanan sebesar 80, 100 N dan 120 N.
- d. Persiapan Spesimen pertama: Tiga spesimen material alternatif sepatu rem dengan dimensi ($15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$), spesimen kedua: Tiga spesimen material alternatif sepatu rem kedua dengan dimensi ($15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$) dan *stainless steel* 316 sebagai disk.
- e. Persiapan alat uji tribometer dan kalibrasi: *Control speed dan Load*
- f. Penelitian : *Wear rate*
- g. Menimbang masa akhir kedua bagian dari enam spesimen
- h. Analisa dan pembahasan grafik “*Wear rate*” dan “*Wear Volume*” sebagai: *Effect of variable specimen mass, speed and distance* dan perhitungan *life time* material.

3.4.1 Studi Pustaka dan Penentuan Material yang Hendak Diuji

Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan didalam melakukan penelitian tugas akhir ini dan penentuan material yang hendak diuji yaitu material alternatif sepatu rem resin serbuk baja dan SS 316 yang digunakan sebagai material uji.

3.4.2 Persiapan Pin Cekam, Spesimen dan Disk

Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari tiga spesimen uji, yaitu resin serbuk baja spesimen I, II dan III sebagai pin dan SS 316 sebagai disk. Agar lebih jelas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pin cekam dan spesimen spesimen, dengan bentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat dan baut berdiameter 2 mm sebagai pengunci spesimen dan dimensi spesimen dengan luasan sebesar ($15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$) dan ($15 \text{ mm} \times 14$

mm \times 9 mm) dibawah ini satuan dari dimensi pin cekam ini adalah mm.

- b. Membuat disk dengan bahan *steel*, dimensi disk dapat dilihat pada gambar 3.6 dibawah ini satuan dari dimensi ini adalah mm.
- c. Disk dibuat sesuai dengan design setelah itu menghaluskan permukaan disk dengan menggunakan kertas grid. Kertas grid yang digunakan adalah 100, 100 400, 600, 800, 1000 dan 2000. Dimensi pin cekam, spesimen dan disk bisa dilihat pada Lampiran 1, Lampiran 2 dan Lampiran 3. Gambar disk yang sudah jadi dan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 *Stainless Steel 316* sebagai *Disk*

3.4.3 Penimbangan Massa Awal Spesimen

Pengukuran properties spesimen dilakukan dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 mg. Berikut adalah timbangan digital yang digunakan bisa dilihat pada gambar 3.5 dibawah ini.



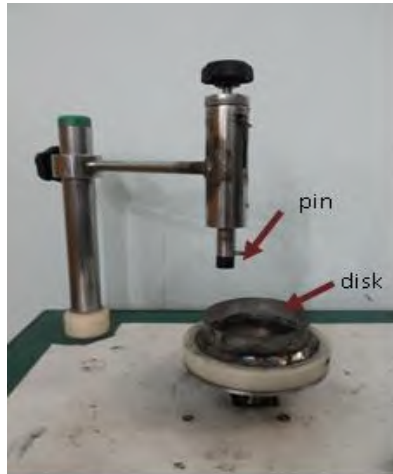
Gambar 3.5 Timbangan Digital untuk Mengukur Berat Spesimen

Spesifikasi timbangan digital yang digunakan untuk menimbang massa awal dan massa akhir pin adalah sebagai berikut:

Merk	: Vibra HTR Series
Kapasitas	: 220 gram
Minimum readability	: 0,0001 g
Minimum unit weight	: 0,0001 g

3.4.4 Persiapan Alat Uji Tribometer dan Kalibrasi : *Control Speed and Load*

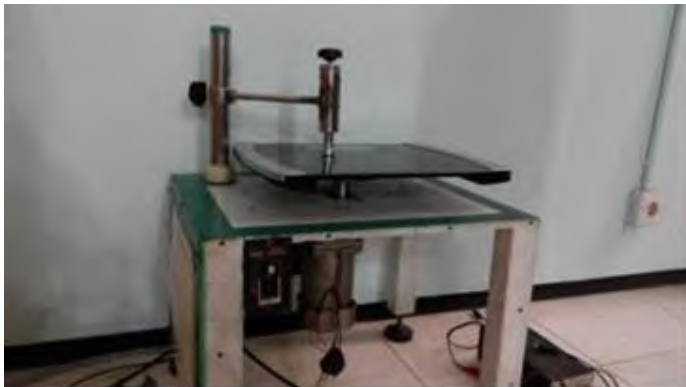
Mempersiapkan alat uji tribometer tipe *pin on disk*. Dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari *speed control*, *load variable*, dan pen-settingan semua komponen dari tribometer. Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada gambar 3.6 dibawah ini:



Gambar 3.6 Instalasi spesimen pin dan disk pada Alat Tribomoter Tipe *Pin On Disc*

a. Pengukuran variabel *load* (F)

Pengukuran variabel *load* dilakukan dengan timbangan berat biasa. Dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Kalibrasi Variabel *Load* dengan Menggunakan Timbangan Berat Biasa

- b. Pengukuran putaran dengan menggunakan *tachometer* akan didapatkan rpm dari lima level *speed control*, panjang *wear track* dibuat konstan (1200 m), sehingga akan didapatkan waktu pengujian masing-masing level *speed control* dengan menggunakan rumus:

$$t = \frac{L}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- t = waktu pengujian (menit)
 L = panjang track pin (meter)
 d = diameter track pin (meter)

3.4.5 Penelitian: Keausan Material Alternatif Sepatu Rem Lokomotif Terhadap SS 316

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan kecepatan putar konstan sebesar 59,2 rpm (Level 100), (L= 600 m, t= 5533 s dan d= 0.07 m) dengan tiga variasi beban dan beban konstan 120 N dengan tiga variasi kecepatan, (L= 1200 m, t=6251 s, 5849 s, 5533 s dan d= 0.07 m) . Instalasi sistem disk dapat dilihat pada gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.8 *Stainless steel 311 Disk* sebagai Material Gesek

3.4.6 Analisa dan Pembahasan

Mengolah data hasil pengujian, membuat grafik dan menganalisa grafik tersebut. Kemudian menganalisa mekanisme laju keausan (*wear rate*) dari hasil pengujian struktur permukaan. Grafik yang dibuat yaitu, grafik “*sepecific wear rate*” sebagai *effect of variable mass and distance*, perhitungan *life time* material.

3.5 Spesifikasi Peralatan Tribometer

Spesifikasi *pin on disk* yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah :

<i>Sliding speed range</i>	: 8.37-250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	: 8 – 60 rpm
<i>Maximum normal load</i>	: 120 N
<i>Frictional force</i>	: 0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	: 10 mm
<i>Pin size</i>	: 8 – 15 mm diameter / diagonal
<i>Disk size</i> ×Tebal	: 100 mm diameter x 20 mm
<i>Wear track diameter</i>	: 20 – 80 mm

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Untuk mengukur kecepatan putaran dengan berbagai tingkatan level yang dijaga konstan oleh speed control digunakan *tachometer*.
- Untuk mengukur besar *load* untuk pengaturan pegas digunakan timbangan berat badan.
- Untuk menimbang massa spesimen (Resin serbuk baja) digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0,1 mg
- Untuk mengatur massa jenis dari pin digunakan pycnometer.

Spesifikasi AC motor, *speed control* dan pegas sebagaimana data berikut:

a. Spesifikasi AC motor dan Gear box

AC motor merk	: Peei moger
Type	: M – 51K90U-CFV

- Daya : 1Ø 4P 50W CONT. 6,0 Mf, 220V
 50Hz 90-1400 rpm
 220V 60Hz 90-1700 rpm
 Gear Box Merk : Peei Moger
 Type : G-5U25-K
 Ratio : 1/25
 Max T : 77kgfcm
- b. Spesifikasi *Speed Control*
 Merk : Peei Moger
 Type : US-5140A-C
 Range : *speed Control* 0 – 100 selectable
- c. Spesifikasi Pegas
 Dimensi : Panjang 6 cm, diameter pegas 18 mm dan diameter kawat 4mm
 Load : 0 – 120 Newton

Pengujian operasi AC motor yang meliputi run test dan temperatur *monitoring*, pengujian *speed control switching* dengan menggunakan tachometer, pengujian karakteristik kekakuan pegas dengan menggunakan timbangan, sehingga tribometer benar-benar siap digunakan untuk keperluan eksperimen.

3.6 Kekerasan Material Alternatif Sepatu Rem Resin Serbuk Baja

3.6.1 *Hardness Rockwell Brinell*

Alat pengujian kekerasan pada eksperimen ini adalah Rockwell Brinell, dimana Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Dengan kata lain, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji yang mendapat pengaruh pembebanan, benda uji akan mengalami deformasi. Kita dapat menganalisis seberapa besar tingkat kekerasan dari bahan tersebut melalui besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan tersebut.

Saat sebelum pengujian dimulai, penguji harus memasang *indenter* terlebih dahulu sesuai dengan jenis pengujian yang

dibutuhkan, yaitu *indenter* bola baja. Setelah indenter terpasang, penguji meletakkan spesimen yang akan diuji kekerasannya di tempat yang tersedia dan menyetel beban yang akan digunakan untuk proses penekanan. Untuk mengetahui nilai kekerasannya, penguji dapat melihat pada jarum yang terpasang pada alat ukur berupa dial *indicator pointer*.



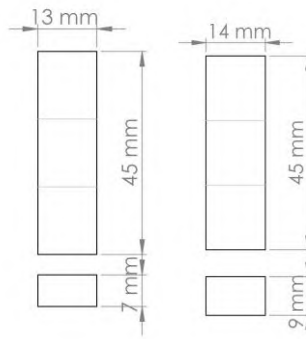
Gambar 3.9 Pengujian Kekerasan Material Alternatif Resin Serbuk Baja

3.6.2 Spesifikasi Alat Pengujian, Dimensi Spesimen dan Harga Kekerasan

Spesifikasi alat pengujian kekerasan material alternatif resin serbuk baja adalah sebagai berikut:

- *Hardness Rockwell Brinell*
- Herbert A.H. Behrens
- Hamburg I
- Ballindam 11
- Frank
- Indentor 1/16" Bola Baja
- Skala Merah
- Pembebanan 100 Kp

Dari spesifikasi diatas pengujian dilakukan dengan penentuan dimensi serta kerataan permukaan untuk mendapatkan harga kekerasan yang baik. Dimensi spesimen saat pengujian kekerasan adalah sama dengan dimensi saat dilakukan pengujian keausan. Pengujian kekerasan dilakukan sebelum pemotongan dimensi spesimen untuk pengujian keausan. Indentor bola baja 1/16” diletakkan tepat pada bagian tengah antar titik pusat masing-masing spesimen sebelum dilakukan pemotongan dengan dimensi pada gambar dibawah berikut ini:



Gambar 3.10 Spesimen-spesimen Pengujian Kekerasan

Gambar diatas merupakan gambar tampak depan dan atas permukaan spesimen. Tiga titik pengujian kekerasan pada masing-masing spesimen berada pada titik pusat bagian atas permukaan dimana pada dimensi spesimen pertama diperoleh angka kekerasan sebesar 66 HRB, 65 HRB dan 64 HRB dan pada spesimen kedua diperoleh angka kekerasan 64 HRB, 69 HRB dan 67 HRB. Dari konversi satuan HB $0,102 f/d=30$ bahwa data kekerasan yang diperoleh pada dimensi spesimen pertama sebesar 113 HB, 111 HB dan 108 HB dan pada spesimen kedua diperoleh data kekerasan sebesar 108 HB, 119 HB dan 115 HB. Data kekerasan tersebut menunjukkan perbedaan harga kekerasan pada masing-masing titik pengujian dan harga kekerasan dengan perbedaan harga yang berbeda jauh adalah pada spesimen kedua.

3.7 Sifat Mekanis *Stainless Steel 316*

Sifat mekanis material SS 316 dapat dilihat pada gambar 3.11 dibawah ini.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.99 g/cc	0.289 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell B	79	79	
Tensile Strength, Ultimate	579 MPa	84000 psi	
Tensile Strength, Yield	290 MPa	42100 psi	
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %	
Elongation at Break	50 %	50 %	in 2 inches
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	tension
Poissons Ratio	0.25	0.25	Calculated
Shear Modulus	77.0 GPa	11200 ksi	torsion

Gambar 3.11 *Mechanical Properties SS316 (Matweb.com)*

3.8 Perancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan dilakukan dengan menggunakan media gesekan *stainless steel*, rancangan eksperimen untuk pengujian keausan dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.1 Matriks Rancangan Hasil Penelitian Berdasarkan Variasi Kecepatan Putaran

Load (kg)	Speed Control (rpm)	Sliding Speed V (m/s)	D (m)	Time (Menit)	V (mm ³)	M ₀ (gr)	M _A (gr)	Δm	H (N/m ²)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /m ³)
12	52.4	0.19201	0.070	104.1891	1365				3.83E+08	0.00177	1200	120		
12	56	0.20525	0.070	97.4912	1365				3.76E+08	0.00185	1200	120		
12	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1365				3.65E+08	0.00178	1200	120		

Tabel 3.2 Matriks Rancangan Hasil Penelitian Berdasarkan Variasi Beban

Load (kg)	Speed Control (rpm)	Sliding Speed V (m/s)	D (m)	Time (Menit)	V (mm ³)	M ₀ (gr)	M _A (gr)	Δm	H (N/m ²)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /m ³)
8	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890				3.65E+08	0.002307	1200	80		
10	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890				4.00E+08	0.002211	1200	100		
12	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890				3.88E+08	0.002400	1200	120		

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas perolehan data kekerasan material alternatif resin serbuk baja dan dianalisa data hasil eksperimen tentang laju keausan dan umur hidup (*life time*) enam spesimen material alternatif resin serbuk baja dan masing – masing material bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316. Tiga spesimen pertama divariasikan terhadap putaran 52,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm dengan beban konstan maksimum sebesar 120 N dan tiga spesimen berikutnya divariasikan terhadap beban 80 N, 100 N dan 120 N dengan putaran maksimum sebesar 59,2 rpm.

4.1 Data Kekerasan Material Alternatif Resin Serbuk baja

Resin serbuk baja merupakan material alternatif seperti rem lokomotif. Data kekerasan dibutuhkan untuk menganalisa *wear rate* pada material alternatif ini. Adapun pengambilan data kekerasan dilakukan dengan alat *Hardness Rockwell Brinell* pada laboraturim metalurgi Teknik Mesin FTI-ITS. Data kekerasan berdasarkan hasil pengujian didapat dari dua jenis spesimen. Spesimen-spesimen tersebut telah diuji berdasarkan titik tengah permukaan gesek material. Pada spesimen material resin serbuk baja dengan luasan 15 mm × 13 mm × 7 mm, harga kekerasan dari masing-masing tiga spesimen uji memperoleh harga kekerasan 66 HRB (382 N/mm²), 65 HRB (376 N/mm²) dan 64 HRB (365 N/mm²) dan harga kekerasan sebesar 64 HRB (365 N/mm²), 69 HRB (400 N/mm²) dan 67 HRB (388 N/mm²) diperoleh pada masing-masing tiga spesimen dengan luasan 15 mm × 14 mm × 9 mm.

4.2 Data Perhitungan Eksperimen

4.2.1 Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm

Hasil dari pengujian laju keausan pada tiga level variasi speed control terhadap beban konstan maksimum material resin

serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316.

Tabel 4.1 Data Perhitungan Hasil Pengujian Material Alternatif Resin Serbuk Baja Bergesekan Dengan *Stainless Steel* AISI 316 Dengan Variasi Kecepatan Putaran (rpm)

Load (kg)	Speed Control (rpm)	Sliding Speed V (m/s)	D (m)	Time (Menit)	V (mm ³)	M ₀ (gr)	M _A (gr)	Δm	H (N/m ²)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /m ³)
12	52.4	0.19201	0.070	104.1891	1365	2.4124	2.4057	0.0067	3.83E+08	0.00177	1200	120	3.791038	1.00831079E+04
12	56	0.20525	0.070	97.4912	1365	2.5260	2.5247	0.0013	3.76E+08	0.00185	1200	120	0.702494	1.83429005E+03
12	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1365	2.4280	2.4277	0.0003	3.65E+08	0.00178	1200	120	0.168657	4.27499485E+02

4.2.2 Resin Serbuk Baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$

Hasil dari pengujian laju keausan pada tiga variasi beban terhadap putaran maksimum material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ yang bergesekan dengan *Stainless Steel* AISI 316.

Tabel 4.2 Data Perhitungan Hasil Pengujian Material Alternatif Resin Serbuk Baja Bergesekan Dengan *Stainless Steel* AISI 316 Dengan Variasi Beban (N)

Load (kg)	Speed Control (rpm)	Sliding Speed V (m/s)	D (m)	Time (Menit)	V (mm ³)	M ₀ (gr)	M _A (gr)	Δm	H (N/m ²)	ρ (gr/mm ³)	Sliding Distance L (m)	F (N)	ΔV (mm ³)	K (mm ³ /m ³)
8	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890	3.8760	3.8708	0.0052	3.65E+08	0.00205	1200	80	2.535604	9.6405766E+03
10	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890	3.7144	3.7100	0.0044	4.00E+08	0.00197	1200	100	2.238854	7.4628473E+03
12	59.2	0.21697	0.070	92.2214	1890	4.0319	4.0313	0.0006	3.88E+08	0.00213	1200	120	0.281257	7.5783130E+02

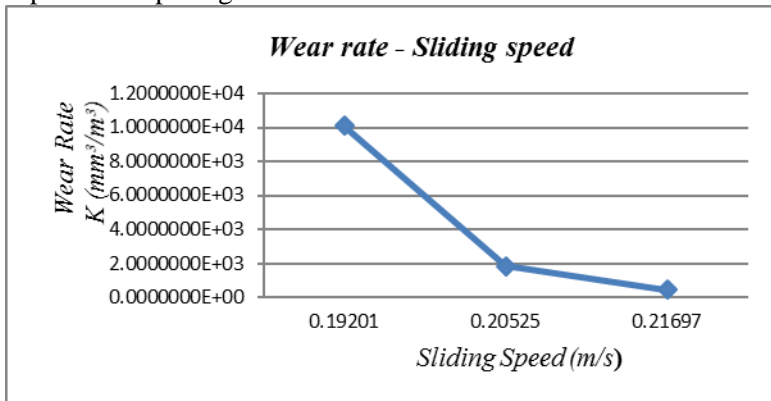
4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Resin Serbuk Baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$

4.3.1.1 Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap *Wear Rate* dengan Tiga Variasi Kecepatan

Dari data yang telah didapatkan, dapat dianalisa berapa nilai *wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau

bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya, jarak dan kecepatan. Besar kecepatan suatu material yang bergerak dan mengalami kontak tersebut mempengaruhi laju (*wear rate*). Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi kecepatan pengujian yaitu pada kecepatan 0,19201 m/s (52,4 rpm), 0,20525 m/s (56 rpm) dan 0,21697 m/s (59,2 rpm). Grafik hubungan antara kecepatan dengan *wear rate* resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik *Wear Rate* terhadap Kecepatan dengan Pembebanan Konstan Maksimum 120 N

Nilai *wear rate* terlihat berbanding lurus dengan kecepatan, semakin besar kecepatan yang diberikan, semakin turun pula laju keausan material. Perubahan grafik *wear rate* terlihat tidak linear. Dimulai dari kecepatan 0,19201 m/s hingga kecepatan 0,21697 m/s tren grafik selalu turun. Pada kecepatan 0,19201 m/s nilai *wear rate*-nya adalah $1,00831079 \times 10^4 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, pada kecepatan 0,20525 m/s nilai *wear rate*-nya berkurang kembali sebesar $1,83429005 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, dan semakin rendah pada kecepatan 0,21697 m/s yaitu $4,27499485 \times 10^2 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.

Secara teoritis, nilai *wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai kecepatan yang diberikan, namun tidak pada material alternatif ini kecenderungan saat kecepatan pertama menurun secara signifikan kecil oleh mekanisme abrasif yaitu

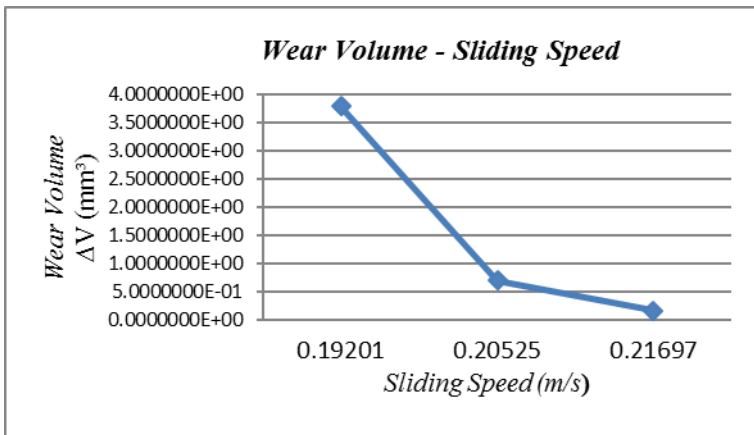
partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan resin serbuk baja yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak dibandingkan dengan kecepatan kedua dan ketiga. Hal ini dikarenakan material resin serbuk baja yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur yang semakin memperkeras permukaannya sehingga gerusan yang terjadi relatif lebih kecil dengan pengaruh unsur logam juga didalamnya, pengaruh dari masing-masing spesimen yang mempunyai harga kekerasan yang relatif berbeda, setiap permukaan spesimen pada permukaan komposisi material yang dominan terhadap material logam antar permukaan tergesek, deformasi plastis dan konsentrasi dari bubuk resin pada permukaan disk yang relatif keras juga mempengaruhi penurunan laju keausan.

Dari hasil pengujian material alternatif resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm terhadap tiga variasi kecepatan diatas, kontak material logam dengan material yang ada unsur logam didalamnya dengan paduan tertentu jika temperatur meningkat maka akan memperkeras kondisi permukaan material ditambah dengan waktu pengujian yang lebih cepat karena lintasan dianggap konstan sepanjang 1200 meter dan permukaan disk stainless steel 316 yang halus sehingga konsentrasi serbuk baja yang tergores mendominasi kontak disk *stainless steel* dan kontak gesekan material alternatif resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *wear rate* rendah maka akan berpengaruh pada umur hidup (*lifetime*) material tersebut yang relatif lebih lama.

4.3.1.2 Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap *Wear Volume* dengan Tiga Variasi Kecepatan

Selain nilai *wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan 0,19201 m/s (52,4 rpm) material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm karena

gesekan sebesar $3,791038 \text{ mm}^3$. Material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ yang terkikis semakin kecil dengan semakin meningkatnya kecepatan yang diberikan saat pengoperasian. Volume yang terkikis pada kecepatan $0,20525 \text{ m/s}$ (56 rpm) sebesar $0,702494 \text{ mm}^3$ dan pada kecepatan $0,21697 \text{ m/s}$ ($59,2 \text{ rpm}$) sebesar $0,168657 \text{ mm}^3$. Penurunan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat kecepatan yang semakin tinggi dan dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini



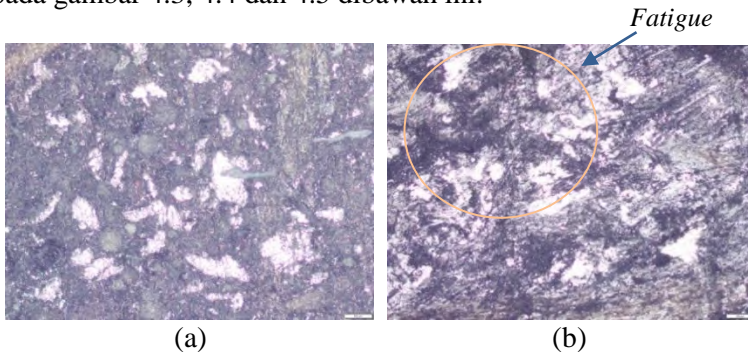
Gambar 4.2 Grafik *Wear Volume* terhadap Kecepatan dengan Pembebanan Konstan 120 N

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai volume yang aus mengikuti nilai *wear rate* yang didapatkan oleh gesekan logam dan unsur paduan dengan penguat logam juga. Tren grafik selalu turun dengan semakin bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kecepatan $0,19201 \text{ m/s}$ volume aus yang terjadi sebesar $3,791036 \text{ mm}^3$, $0,20525 \text{ m/s}$ volume aus yang terjadi sebesar $0,702494 \text{ mm}^3$ dan $0,21697 \text{ m/s}$ volume aus yang terjadi sebesar $0,168657 \text{ mm}^3$. Hal ini dikarenakan material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ yang diuji dengan kecepatan rendah pada keadaan volume teraus pertama mengakibatkan osilasi pembebanan, timbul fracture mekanik akibat rendahnya

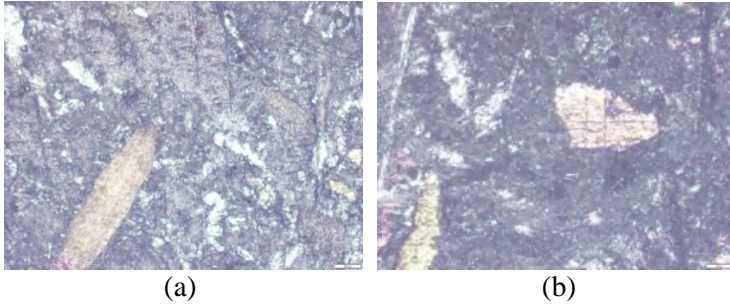
kecepatan putaran dan lamanya pengujian serta memperlambat pergesekan berdasarkan jarak konstan sehingga terjadi *fatigue* sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin dan memperkeras permukaan pada material alternatif tersebut sehingga gerusan pada pin akan makin lambat serta material menjadi lebih sulit terkikis dan volume material semakin berkurang dikarenakan oleh permukaan disk juga yang semakin halus dan terdapat konsentrasi serbuk baja dipermukaan disk.

4.3.1.3 Analisa Struktur Permukaan Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm Sebelum dan Setelah Pengujian

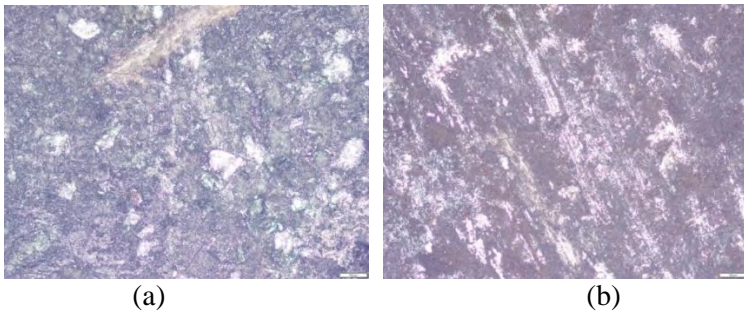
Berikut adalah foto struktur permukaan material alternatif resin serbuk baja sebelum dan setelah pengujian, dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.3 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm I sebelum Pengujian.
(b). Foto mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm I setelah Pengujian



Gambar 4.4 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm II sebelum Pengujian. (b). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm II setelah Pengujian



Gambar 4.5 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm III sebelum Pengujian. (b). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm III setelah Pengujian

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat lebih bergelombang dengan menunjukkan alur garis keausan arah diagonal daripada struktur material sebelum pengujian. Dapat terlihat pada gambar 4.5b terdapat guratan guratan akibat goresan yang mengindikasikan bahwa material

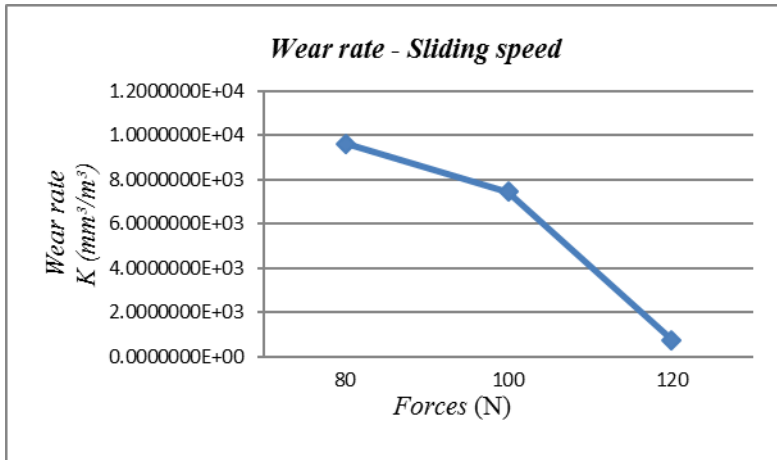
terkikis atau terabrasi serta teradesi dan tren cenderung menurun secara drastis yang disebabkan oleh adanya osilasi saat pembebanan dan interaksi permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan gesek.. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara dua material uji yang saling kontak.

Material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ cenderung lebih lunak dari pada *stainless steel* AISI 316. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan sehingga tidak menimbulkan *fatigue*, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi yang begitu besar pada percobaan pertama. Pada material uji kedua dan ketiga terlihat gerusan berupa garis putih diagonal kekiri dimana pada spesimen kedua dan ketiga ini osilasi yang terjadi tidak begitu besar sehingga material mengalami *scratching* sekaligus pengelupasan yang lebih sedikit seiring meningkatnya kecepatan.

4.3.2 Resin Serbuk Baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$

4.3.2.1 Analisa Pengaruh Kecepatan terhadap *Wear Rate* dengan Tiga Variasi Pembebanan

Dari data yang telah didapatkan, dapat dianalisa berapa nilai *wear rate* yang menunjukkan besar dan kecilnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan kecepatan, jarak dan gaya. Besarnya pengaruh beban suatu material yang bergerak dan mengalami kontak tersebut mempengaruhi laju keausan (*wear rate*). Pada penelitian berikutnya dilakukan tiga variasi beban pengujian yaitu pada kecepatan 80 N, 100 N dan 120 N. Grafik hubungan beban dengan *wear rate* resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik *Wear Rate* terhadap Beban dengan Kecepatan Konstan Maksimum 59,2 rpm

Nilai *wear rate* terlihat berbanding lurus dengan pembebanan, semakin besar beban yang diberikan, semakin turun pula laju keausan material. Perubahan grafik *wear rate* terlihat tidak linear. Dimulai dari beban 80 N hingga beban 120 N tren grafik selalu turun. Pada kecepatan beban 80 N nilai *wear rate*-nya adalah $9,6405766 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, pada beban 100 N nilai *wear rate*-nya berkurang lagi sebesar $7,4628473 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ dan semakin rendah pada beban 120 N m/s yaitu $7,5783130 \times 10^2 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.

Secara teoritis, nilai *wear rate* akan semakin besar dengan semakin besarnya nilai beban yang diberikan, namun tidak pada material alternatif ini kecenderungan saat beban pertama hingga kedua terjadi penurunan laju keausan relatif kecil dan secara signifikan terjadi penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan pembebanan kedua dan ketiga. Hal ini dikarenakan material resin serbuk baja yang diuji dengan beban yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami deformasi plastis, sentuhan pada konsentrasi komposisi logam antar logam, peningkatan

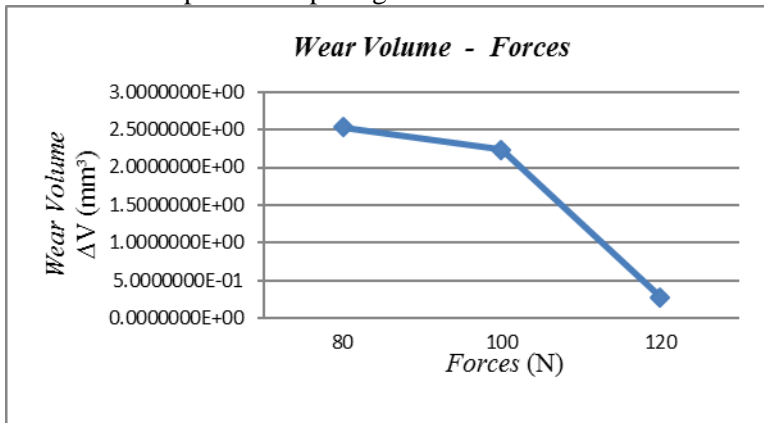
temperatur yang semakin memperkeras permukaannya, kontak *asperity* yang sama sehingga gerusan yang terjadi relatif lebih kecil, pengaruh dari masing-masing spesimen yang mempunyai harga kekerasan yang relatif berbeda, setiap permukaan spesimen pada permukaan komposisi material yang dominan terhadap material logam antar permukaan tergesek dan konsentrasi dari bubuk resin pada permukaan disk yang relatif keras juga mempengaruhi penurunan laju keausan. Perbedaan laju keausan pada spesimen kedua dan ketiga diakibatkan oleh adanya *fatigue* selain dari pengujian pertama saat pembebanan minimum. Pada variasi kecepatan dengan pembebanan maksimum material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm terjadi mekanisme abrasif dan adesif.

Dari hasil pengujian material alternatif resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm terhadap tiga variasi beban diatas, kontak material logam dengan material yang ada unsur logam didalamnya dengan paduan tertentu jika temperatur meningkat maka akan memperkeras kondisi permukaan material ditambah dengan waktu pengujian yang lebih cepat karena lintasan dianggap konstan sepanjang 1200 meter dan permukaan disk stainless steel 316 yang halus sehingga konsentrasi serbuk baja yang tergores mendominasi kontak disk *stainless steel* dan kontak gesekan material alternatif resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *wear rate* rendah maka akan berpengaruh pada umur hidup (*lifetime*) material tersebut yang relatif lebih lama.

4.3.2.2 Analisa Pengaruh Kecepatan terhadap Wear Volume dengan Tiga Variasi Pembebanan

Selain nilai *wear rate*, didapatkan pula nilai volume yang aus pada pengujian resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm. Dapat dilihat pada Tabel 4.4, pada beban 80 N material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm karena gesekan diperoleh *wear volume* sebesar 2,535604 mm³. Material resin serbuk 15 mm × 14 mm × 9 mm yang terkikis semakin turun dengan semakin

meningkatnya beban yang diberikan saat pengoperasian. Volume yang terkikis pada beban 100 N sebesar $2,238854 \text{ mm}^3$ dan volume aus cenderung turun drastis pada beban 120 N sebesar $0,281257 \text{ mm}^3$. Penurunan nilai volume yang aus ini juga dikarenakan cepatnya kenaikan temperatur akibat beban yang semakin tinggi, perubahan oskilasi penekanan beban akibat beban yang tinggi pada beban 100 N dan 120 N. Grafik data perubahan *wear volume* dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



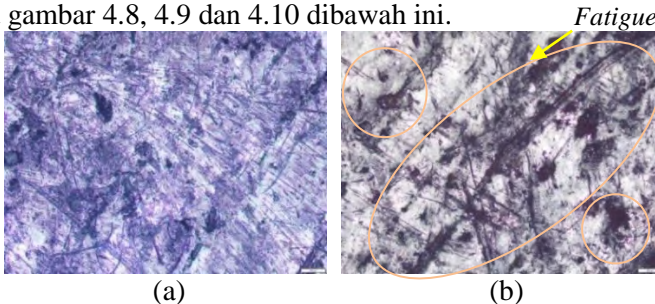
Gambar 4.7 Grafik *Wear Volume* terhadap Variasi Beban dengan Kecepatan Konstan 59,2 rpm

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai volume yang aus mengikuti nilai *wear rate* yang didapatkan oleh gesekan logam dan unsur paduan logam juga. Tren grafik selalu turun dengan semakin bertambahnya beban yang diberikan. Hal ini dikarenakan material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ yang diuji dengan konstan maksimum akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin dan memperkeras permukaan pada material alternatif tersebut sehingga gerusan pada pin akan makin lambat serta material menjadi lebih sulit terkikis dan volume material semakin berkurang dikarenakan oleh

permukaan disk juga yang semakin halus dan terdapat konsentrasi serbuk baja dipermukaan disk. Pada percobaan ketiga terjadi osilasi dan penggerusan material alternatif akibat pembebanan, sehingga tren mengalami penurunan yang relatif lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya.

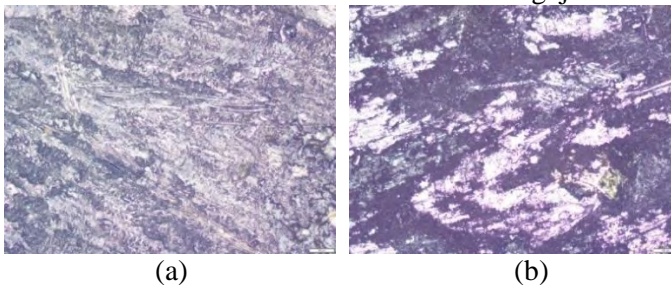
4.3.2.3 Analisa Struktur Permukaan Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm Mikro Sebelum dan Setelah Pengujian

Berikut adalah foto struktur permukaan material alternatif resin serbuk baja sebelum dan setelah pengujian, dapat dilihat pada gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 dibawah ini.

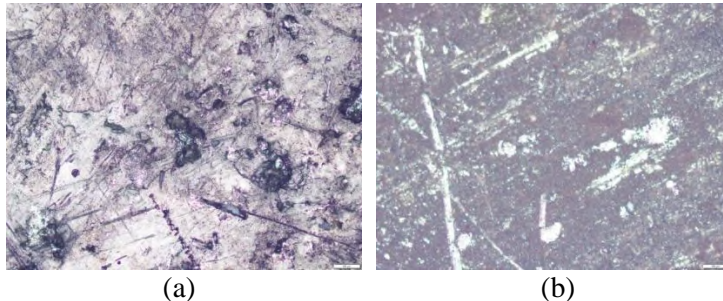


Gambar 4.8 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm I sebelum Pengujian.(b).

Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm I setelah Pengujian



Gambar 4.9 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm II sebelum Pengujian.
(b). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm II setelah Pengujian



Gambar 4.10 (a). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm III sebelum Pengujian. (b). Foto Mikro 100x Permukaan Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm III setelah Pengujian

Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat lebih bergelombang dengan menunjukkan alur garis keausan arah diagonal daripada struktur material sebelum pengujian. Dapat terlihat pada gambar 4.3b) terdapat guratan-guratan akibat goresan yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi serta teradesi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kekerasan antara 2 material uji yang saling kontak. Material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm cenderung lebih lunak daripada *stainless steel* AISI 316. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi pada beban maksimum mengalami oskilasi, sehingga material mengalami *scratching* sekaligus pengelupasan yang tidak begitu besar dengan pembebanan awalnya.

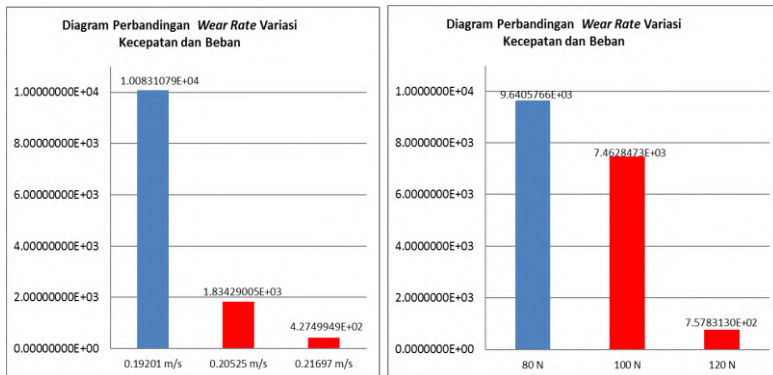
Pada foto mikro diatas terlihat ada perbedaan kontur permukaan pada saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah

dilakukan pengujian. Struktur mikro material setelah pengujian terlihat lebih bergelombang dengan menunjukkan alur garis keausan arah diagonal daripada struktur material sebelum pengujian. Dapat terlihat pada gambar 4.10b terdapat guratan guratan yang besar (abrasi) akibat goresan partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan resin serbuk baja yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang mengindikasikan bahwa material terkikis atau terabrasi, teradesi secara berlebihan hingga terjadi *fatigue* dan tren *wear volume* cenderung menurun lebih sedikit dibandingkan dengan pengujian berikutnya yang disebabkan oleh adanya konsentrasi logam dan kekerasan permukaan pada spesimen II. Osilasi saat pembebanan dan interaksi permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro yang akhirnya mikro menyatu dan menghasilkan pengelupasan material berlebih. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental penelitian secara langsung. Ketika penelitian dilakukan dengan pemberian beban, penekanan dari beban tersebut tidak sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun pada kenyataannya penekanan beban yang terjadi mengalami osilasi yang begitu besar pada percobaan pertama berikut harga kekerasan yang lebih kecil spesimen pertama. Pada material uji kedua dan ketiga terlihat gerusan berupa garis putih diagonal ke kiri dimana pada spesimen kedua dan ketiga ini osilasi yang terjadi tidak begitu besar sehingga material ketiga mengalami *scratching* sekaligus pengelupasan yang lebih sedikit seiring meningkatnya kecepatan dibandingkan dengan spesimen yang kedua.

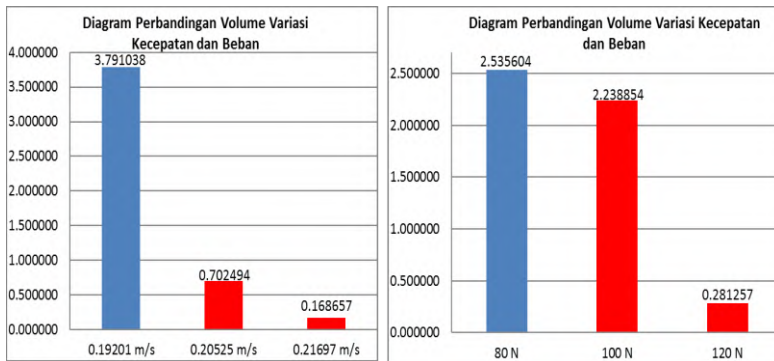
4.4 Grafik Perbandingan Wear Rate dan Volume Aus terhadap Variasi Kecepatan dan Beban

Dari data yang diperoleh, dapat dianalisa perbandingan nilai *wear rate* dan volume batas aus yang menunjukan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan kecepatan dan gaya antara material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7

mm dan resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ pada jarak tempuh konstan 1200 m. Besar kecepatan suatu material yang bergerak, beban yang menekan dan mengalami kontak mempengaruhi laju keausan (*wear rate*) dan volume aus (*wear volume*). Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi kecepatan dan beban yaitu pada kecepatan 0,19201 m/s (52,4 rpm), 0,20525 m/s (56 rpm) dan 0,21697 (59,2 rpm) dan beban sebesar 80 N, 100 N dan 120 N. Berikut grafik perbandingan nilai *wear rate* antara material material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ dan resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12 dibawah ini.



Gambar 4.11 Diagram Batang Perbandingan Nilai *Wear Rate* terhadap Kecepatan dan Beban antara Material Resin Serbuk Baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ dan Resin Serbuk Baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$.



Gambar 4.12 Diagram Batang Perbandingan Nilai *Wear Volume* terhadap Kecepatan dan Beban antara Material Resin Serbuk Baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dan Resin Serbuk Baja 15 mm × 14 mm × 9 mm.

Dari grafik diatas terlihat bahwa perbandingan *wear rate* dan *wear volume* ditampilkan dalam urutan terbesar hingga terkecil dari kombinasi dua variasi pengujian. material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dengan beban konstan maksimum pada kecepatan maksimum sebesar 0,21697 m/s adalah paling rendah dibandingkan nilai *wear rate* dari variasi kecepatan konstan maksimum pada beban maksimum material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm. Hal ini berarti bahwa variasi beban konstan maksimum dan beban maksimum material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm lebih baik dan lebih tahan terhadap aus dibandingkan variasi kecepatan konstan maksimum dan beban maksimum pada spesimen uji material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm.

Material resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9 mm pada variasi kecepatan konstan maksimum terhadap beban minimum 80 N adalah paling tinggi dibandingkan dengan nilai *wear rate* material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm pada variasi kecepatan maksimum dengan beban minimum dan terlihat bahwa perilaku dari hasil pengujian mengalami perbedaan laju keausan dengan variasi yang sama antara material resin serbuk baja 15 mm × 13 mm × 7 mm dan resin serbuk baja 15 mm × 14 mm × 9

mm pada parameter pengujian beban konstan maksimum dan kecepatan maksimum dengan nilai laju keausan sebesar $757,8313 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ pada material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ dan $427,4994 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ diiringi dengan nilai *wear volume* sebesar $0,281257 \text{ mm}^3$ dan $0,168657 \text{ mm}^3$ adalah nilai laju keausan dan volume aus yang paling kecil.

Hal ini juga berarti bahwa material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ dan material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ pada variasi kecepatan minimum saat pembebanan konstan maksimum dan kecepatan maksimum konstan pada pembebanan 80 N memiliki ketahanan yang paling buruk diantara keseluruhan variasi kecepatan dan pembebanan dengan nilai *wear rate* dan *wear volume* $10083,1079 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ dan $9640,5766 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Saat kecepatan 56 rpm dengan pembebanan maksimum material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 4,07 lebih baik daripada material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ saat pembebanan 100 N dengan kecepatan konstan maksimum dan Saat pembebanan 120 N dengan kecepatan konstan maksimum material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ 1,77 lebih baik dibandingkan dengan material resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ saat pembebanan konstan maksimum 120 N dengan kecepatan maksimum, yaitu nilai *wear rate* 56 rpm pada beban konstan maksimum 120 N sebesar $427,499485 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ dan $757,831295 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.

Secara teoritis, nilai *wear rate* akan semakin tinggi dengan semakin besarnya nilai kecepatan dan beban yang diberikan. Hal ini berbeda pada material uji resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ dan resin serbuk baja $15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ dengan indikasi keausan yang telah terjadi dan dikarenakan material yang diuji dengan kecepatan yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami peningkatan temperatur pada permukaan kontakannya, mempercepat gesekan yang terjadi pada pin sehingga gerusan pada pin akan semakin lambat karena pengaruh konsentrasi serbuk halus, kehalusan permukaan disk setelah dilakukan

pengujian sebelumnya serta material menjadi lebih sulit terkikis. pengaruh deformasi plastis, *fracture* adalah hal yang dominan terjadi setelah terjadi selisih nilai laju keausan yang besar.

Dari hasil pengujian material resin serbuk baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm dan resin serbuk baja 15 mm \times 14 mm \times 9 mm dengan tiga variasi kecepatan dan tiga variasi beban diatas, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada dikarenakan saat pengujian berlangsung terjadi dengungan antar gesekan permukaan disk dan material uji yang mengindikasikan bahwa permukaan material uji semakin keras dan berkurangnya *wear rate* saat penambahan kecepatan. Hal ini dapat terlihat dari diagram batang yang dihasilkan memiliki tren yang semakin turun seiring dengan bertambahnya kecepatan yang diberikan. Pada kondisi operasinya, ketika nilai *wear rate* tinggi maka akan berpengaruh pada umur hidup (*life time*) material tersebut. Dari grafik yang ada, dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi pengujian material resin serbuk baja 15 mm \times 13 mm \times 7 mm dengan variasi kecepatan dengan pembebanan konstan lebih baik dibandingkan dengan material pada variasi pembebanan dengan kecepatan konstan maksimum untuk material 15 mm \times 14 mm \times 9 mm.

Berdasarkan nilai laju keausan dan *wear volume* tersebut diatas bahwa nilai variasi kecepatan dan beban merupakan keterbatasan dari alat uji tribometer tipe *pin on disk*. Proses perlakuan pengujian dilakukan dengan kondisi spesifikasi maksimum pada alat uji tribometer tipe *pin on disk* dengan kecepatan sebesar 0,21697 m/s dan beban 120 N. Skala perbandingan kondisi *real* yang melibatkan pengaruh kecepatan dan beban berbanding 1:65,87 untuk skala kecepatan dan 1:59,66 untuk skala pembebanan.

4.5 Perhitungan Umur Hidup (*lifetime*) Material Uji

Pada eksperimen ini setelah dicari nilai laju keausan (*wear rate*), maka akan didapatkan umur hidup dari dua spesimen uji dengan variasi pengujian yang berbeda. perhitungan umur hidup

masing-masing material alternatif resin serbuk baja menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{v}$$

t = umur hidup material (tahun)

L = panjang lintasan (meter)

v = kecepatan rata – rata (m/s)

Dimana untuk mencari nilai L dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$L = \frac{V \times H}{K \times W}$$

L = Panjang Lintasan (meter)

V = Volume BatasAus (m^3)

H = Nilai Kekerasan Material

K = Nilai Laju Keausan (m^2/N)

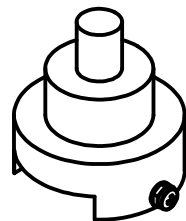
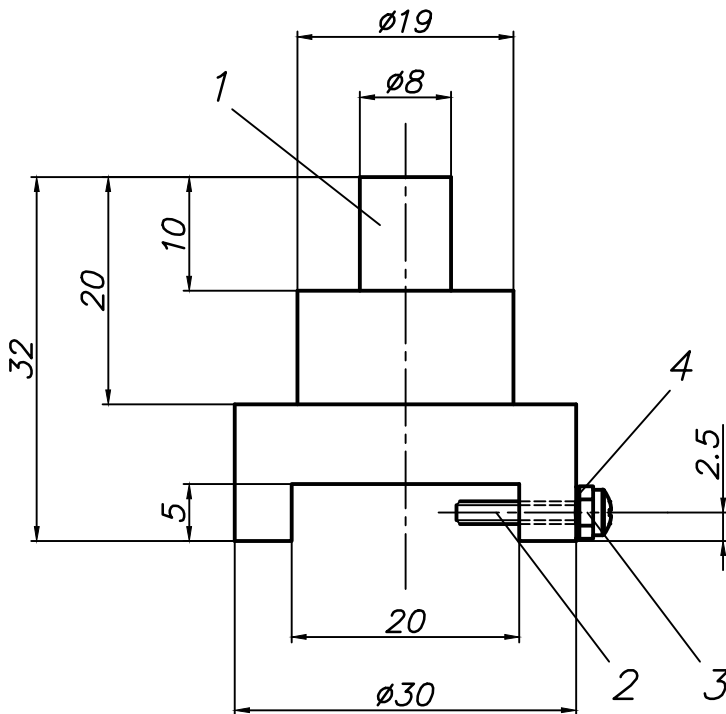
W = Berat Pembebanan (N)


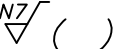
Nilai *Life time* untuk tiga perilaku pengujian berdasarkan variasi kecepatan dan beban dengan nilai konstan pengujian berupa kecepatan: 0,21697 m/s untuk beban 80 N dan 100 N, kecepatan 0,19201 m/s untuk beban 120 N. Berdasarkan perolehan laju keausan dan volume aus maka didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel 4.3 dibawah ini.

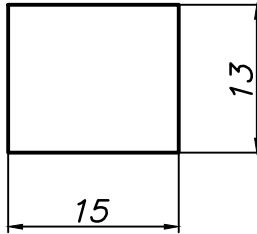
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Umur Hidup Material Resin Serbuk Baja

Speed Control (rpm)	Sliding Speed v (m/s)	H (N/m^2)	Sliding Distance L (m)	V SR (mm^3)	F (N)	K (mm^3/N)	t (Seconds)	t (Jam)	t (Tahun)
52.4	0.19201	3.83E+08	6785740.53	21438	120	1.00831079E+04	35340557.929945	9816.821647	1.120642
59.2	0.21697	3.65E+08	10145513	21438	80	9.6405766E+03	46759979.815242	12988.883282	1.482749
59.2	0.21697	4.00E+08	11490253	21438	100	7.4628473E+03	52957793.8205864	14710.498283	1.679281

(halaman ini sengaja dikosongkan)



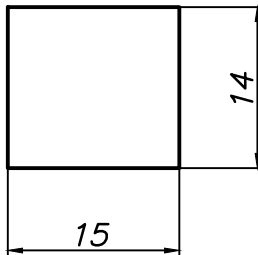
1	Washer M2						4		.			
1	Nut M2						3		.			
1	Head Cross Screw M2x16						2		.			
1	Pin Cekam						1	St 37	.			
Qty		Description					Item	Material	Dim./Drw.No.		Rem./Seat No.	
SN 258440 – Middle							Dwn. : 29.07.16 Eskaridho	F : 5 DT : 04 Sc : 1 : 1	Project 	HRc -	Operation 	
Nom.	0,5 8	> 6 30	> 30 120	>120 400	>400 1000	>1000 2000						
Tol.±	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2						
RI RNo. Date Name							Title Pin Cekam					
.. 									
...							Detail of :					
...							ITS Surabaya					
...							Assy.				Drw.No.	
...												
							Origin : .		Wt : .		MU : .	
									SN : .		NS : .	



Specimen 1
Resin Serbuk Baja
66 HRB ; 65 HRB ; 64 HRB

$t = 7mm$



3	Specimen 1	5		.	
---	------------	---	--	---	--



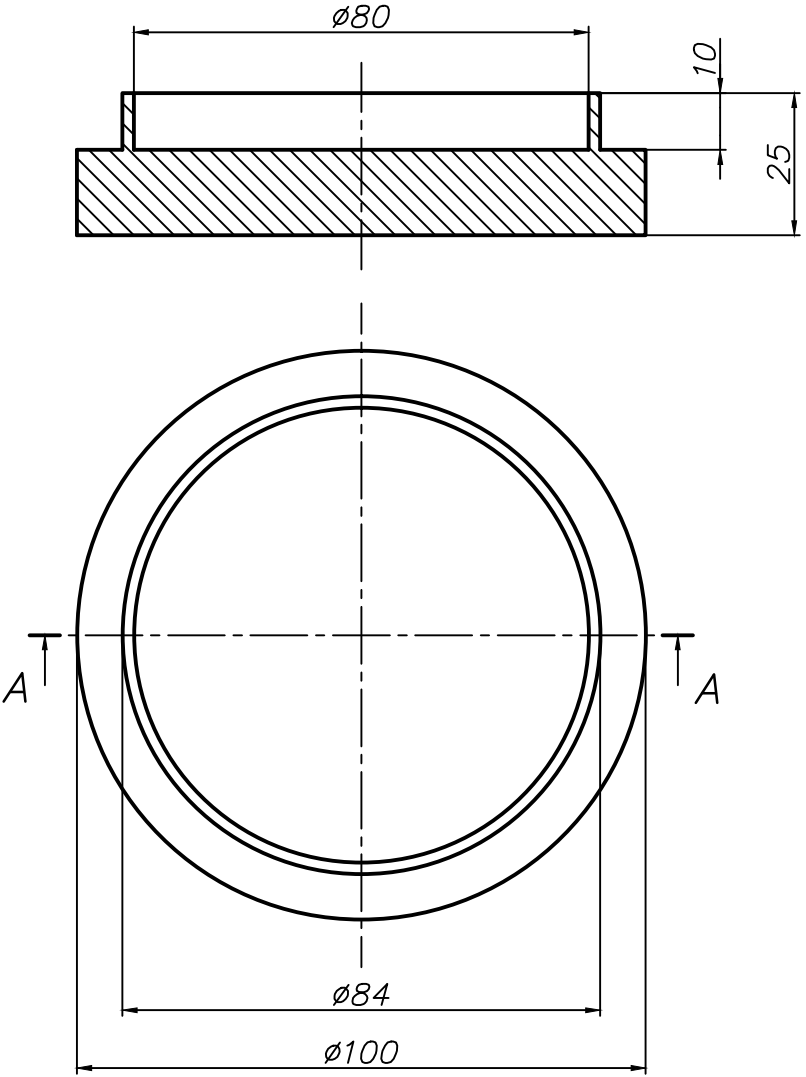
Specimen 2
Resin Serbuk Baja
64 HRB ; 69 HRB ; 67 HRB



$t = 9mm$

3	Specimen 2	6		.	
Qty	Description	Item	Material	Dim./Drw.No.	Rem./Seat No.

SN 258440 – Middle							Dwn. : 29.07.16 Eskaridho		F : 5 DT : 04 Sc : 1 : 1		Project 		HRc —		Operation 			
Nom.	0,5 8	> 6 30	> 30 120	>120 400	>400 1000	>1000 2000	Title <div>Specimen</div>											
Tol.±	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2												
RI	RNo.	Date		Name			Detail of : <div>ITS Surabaya</div>											
..														
...														
...														
...			Assy.				Drw.No.							
							Origin : .				Wt : .		MU : .		SN : .		NS : .	

Section A-A



1	Disc					7	St.St. 316	.		
Qty	Description					Item	Material	Dim./Drw.No.	Rem./Seat No.	
SN 258440 – Middle						Dwn. : 29.07.16 Eskaridho	F : 5 DT : 04 Sc : 1 : 1	Project 	HRc -	Operation  ()
Nom.	0,5 8	> 6 30	> 30 120	>120 400	>400 1000		>1000 2000			
Tol.±	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8		1,2			
RI	RNo.	Date		Name		Title Disc				
..	....	.....		.....		Detail of :				
...	....	.....		.....		ITS Surabaya			Assy.	Drw.No.
...						
...	....	.....		.....		Origin : .			Wt : .	MU : .
								SN :	NS :	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari analisa laju keausan (*wear rate*) dan *lifetime* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *wear rate* antara material alternatif resin serbuk baja yang memiliki dimensi sebesar 15 mm × 13 mm × 7 mm dengan *Stainless Steel* AISI 316 yang mengalami kontak akibat tiga variasi kecepatan 52,4 rpm, 56 rpm dan 59,2 rpm terhadap pembebanan konstan maksimum 120 N akan semakin mengalami penurunan, yaitu nilai rata – rata sebesar $4,1149658 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.
2. Nilai *wear rate* antara material alternatif resin serbuk baja yang memiliki dimensi sebesar 15mm × 14 mm × 9 mm dengan *Stainless Steel* AISI 316 yang mengalami kontak akibat tiga variasi beban 80 N, 100 N dan 120 N mengalami penurunan, yaitu nilai rata – rata sebesar $5,9537517 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.
3. Mekanisme Keausan yang terjadi pada material 15 mm × 13 mm × 7 mm dan 15 mm × 14 mm × 9 mm didominasi oleh mekanisme keausan fatigue dengan selisih dari nilai keausan yang signifikan besar pada saat percobaan pertama, abrasif dan guratan dan pelebaran kontur permukaan dapat dilihat pada foto mikro 100x pada permukaan material dengan mengindikasikan terjadinya abrasif dan adesif.
4. Umur Hidup (*lifetime*) material resin serbuk baja berdasarkan hasil perilaku pengujian variasi kecepatan dan pembebanan. Untuk material 15 mm × 13 mm × 7 mm selisih umur perilaku terkecil terdapat pada variasi kecepatan dan pembebanan konstan dengan perolehan umur selama jangka waktu 1,120642 tahun saat kondisi perilaku pengujian beban 120 N dan kecepatan 0,19201 m/s.
5. Umur Hidup (*lifetime*) material resin serbuk baja berdasarkan hasil perilaku pengujian variasi kecepatan dan pembebanan. Untuk material 15 mm × 13 mm × 9 mm selisih umur perilaku

terkecil terdapat pada variasi pembebanan dan kecepatan konstan dengan perolehan umur selama jangka waktu 1,482749 dan 1,679281 tahun saat kondisi perilaku pengujian beban 80 N dan 100 N dan dengan kecepatan 0,21697 m/s.

5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada Penelitian ini keterbatasan alat uji tribometer dengan beban maksimal 12 Kg, osilasi saat pembebanan sehingga masih dapat dikembangkan lagi dengan skala yang lebih baik lagi.
2. Untuk setiap penelitian sebaiknya menggunakan alternatif pengunci disk baru sehingga pada saat penguncian disk tidak terjadi *displacement*.
3. Ketidakkakuan dari penyangga peletakan disk juga mempengaruhi pembebanan saat berlangsungnya pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Akkus, Ahmet. 2014. "Research on Wear Rate and Mechanical Properties of Brake Sabots (Shoes) Used in Rail Rolling Stocks". Turkey: Chumriyet University.
- Marusic, V., Vitez, L., Kladaric I, 2004. "Tribological Of Brake Shoes with Increased Phosphorus Content Properties". METABK 43 (4) 323-327, ISSN:0543-5846.
- Stachowiak, G.,W And A.,W, Batchelor. 2000. "Engineering Tribology", *Elsevier Butterworth*. Amerika Serikat.
- Tarina, W. Dwi., September. 2012. "Studi Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada Dental Prosthesis". Teknik Mesin ITS Vol 1, ISSN:2301-9271.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Eskaridho Gultom, lahir di Kota Tanjungpandan, Provinsi Bangka Belitung pada tanggal 10 Februari 1992 merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Ridwan Gultom dan Hotmaida Ritonga. Penulis memulai pendidikan di SDN 25 Desa Air Merbau Tanjungpandan, SMPN2 Tanjungpandan, MAN Tanjungpandan dan MA DR. H. Abdullah Ahmad PGAI Padang,

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Negeri Padang dan memutuskan untuk melanjutkan studi ke jenjang Sarjana pada Program Lintas Jalur Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama menempuh pendidikan penulis berpartisipasi dalam berbagai kegiatan Staff kemahasiswaan dan kepanitiaan kemahasiswaan pada BEM dan HMM Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.

Penulis sering disapa Ridho GT yang menyukai olahraga sepakbola dan musik ini dapat dihubungi melalui Gmail: ridhoglt70@gmail.com. Sekian dan Terimakasih.